



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**Facultad de Ingeniería
y Ciencias**

Ingeniería Biomédica

MONOGRAFÍA DE TRABAJO DE GRADO

Desarrollo de una herramienta de entrenamiento y
evaluación del uso adecuado del electrobisturí enfocada
en la seguridad del paciente

Laura Isabel Ceballos Rivera

Director

MSc Valentina Corchuelo Guzmán

Codirector

MSc Juan Esteban Palacios Duarte

23 de julio de 2025

Santiago de Cali, 23 de julio de 2025

Señores
Pontificia Universidad Javeriana – Cali
Dr. Hernán Camilo Rocha Niño
Decano
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Ciudad

Cordial Saludo.

Por medio de la presente me permito presentarle el Trabajo de Grado titulado “Desarrollo de una herramienta de entrenamiento y evaluación del uso adecuado del electrobisturí enfocada en la seguridad del paciente”.

Espero que este trabajo reúna todos los requisitos académicos, cumpla el propósito para el cual fue creado y sirva de apoyo para futuros proyectos relacionados con la materia.

Atentamente,



Laura Isabel Ceballos Rivera

Santiago de Cali, 23 de julio de 2025

Señores

Pontificia Universidad Javeriana – Cali

Dr. Hernán Camilo Rocha Niño

Decano

Facultad de Ingeniería y Ciencias

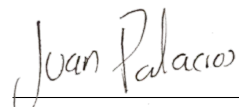
Ciudad

Cordial Saludo.

Certificamos que el presente Trabajo de Grado titulado “Desarrollo de una herramienta de entrenamiento y evaluación del uso adecuado del electrobisturí enfocada en la seguridad del paciente”, realizado por Laura Isabel Ceballos Rivera, estudiante de Ingeniería Biomédica, se encuentra terminado y puede ser presentado para su sustentación.

Atentamente,

MSc Valentina Corchuelo Guzmán
Director Trabajo de Grado



MSc Juan Esteban Palacios Duarte
Co-Director Trabajo de Grado

Agradecimientos

Dedico este proyecto de grado, con todo corazón, a mi hermana Ana Isabel. La persona que me apoya en todo y trae la luz en los lugares más oscuros. La mayor constante en mi vida y mayor ejemplo a seguir; ella es el espejo en el cual me quiero reflejar. Ha sido mi guía, y le agradezco a la vida por concederme la mejor de las hermanas.

Agradezco a mis padres por brindarme la oportunidad, el apoyo para formarme como profesional, y por su compromiso inquebrantable con mi educación.

De igual manera, expreso mi gratitud a mis directores y a los docentes que me acompañaron a lo largo de la carrera, por ser un pilar en mi formación académica. Fueron fundamentales para la realización de este proyecto.

Glosario

Acrónimos y Abreviaturas

<i>VR</i>	Virtual Reality (Realidad Virtual)
<i>AST</i>	Association of Surgical Technologists
<i>IEC</i>	International Electrotechnical Commission
<i>SOGCS</i>	Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad en Salud
<i>INVIMA</i>	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos
<i>SUH</i>	Sistema Único de Habilitación
<i>PAMEC</i>	Programa de Auditoría para el Mejoramiento de la Calidad
<i>ECRI</i>	Emergency Care Research Institute
<i>WEM</i>	(marca del electrobisturí utilizado: WEM SS501-SX)

Términos

<i>Electrobisturí</i>	Dispositivo que utiliza corriente de alta frecuencia para cortar y coagular tejido.
<i>Electrodo activo</i>	Electrodo que aplica la corriente al tejido.
<i>Electrodo de retorno</i>	Electrodo que cierra el circuito de corriente de forma segura.
<i>Evento adverso</i>	Daño no intencionado causado durante el uso del dispositivo médico.
<i>Incidente adverso</i>	Situación que podría haber causado daño, pero que fue evitada.
<i>Gamificación</i>	Uso de elementos de juego para motivar el aprendizaje.
<i>Modelo de Kirkpatrick</i>	Modelo de evaluación en cuatro niveles de programas de formación.
<i>Fuego quirúrgico</i>	Incendio que puede ocurrir en el campo quirúrgico por condiciones específicas.

Resumen

El uso seguro del electrobisturí en procedimientos quirúrgicos representa un desafío crítico para la seguridad del paciente, dado que su manejo inadecuado puede desencadenar eventos adversos como quemaduras, incendios quirúrgicos y lesiones térmicas. Pese a su alta frecuencia de uso, la formación del personal asistencial en el uso de este dispositivo suele ser limitada e informal. Frente a esta necesidad, el presente trabajo de grado tuvo como objetivo general desarrollar una herramienta de entrenamiento y evaluación para el uso seguro del electrobisturí, basada en realidad virtual y elementos de gamificación.

Los objetivos específicos del proyecto incluyeron: identificar las principales variables y retos asociados al uso del electrobisturí, diseñar e implementar un entorno virtual interactivo que simulará de manera fiel las prácticas clínicas relacionadas con este dispositivo, y verificar la funcionalidad de la herramienta mediante un modelo de evaluación cuantitativo.

El proyecto se desarrolló como una investigación aplicada, con enfoque mixto. Se realizó una revisión de literatura, entrevistas estructuradas y posteriormente se diseñó un entorno de entrenamiento en realidad virtual mediante el motor Unity. La herramienta resultante incluye un nivel completo que guía al usuario en etapas clave como la preparación de la piel, la colocación del electrodo de retorno, la configuración segura del equipo, y la ejecución de las funciones de corte y coagulación.

La evaluación de la herramienta se llevó a cabo utilizando el modelo de Kirkpatrick, abordando los niveles de reacción, aprendizaje, comportamiento y resultados. Los datos obtenidos evidenciaron una alta aceptación por parte de los usuarios, así como mejoras significativas en el conocimiento y habilidades técnicas relacionadas con el uso seguro del electrobisturí.

Entre las principales conclusiones, se destaca que la herramienta constituye una estrategia innovadora y efectiva para fortalecer la capacitación del personal asistencial en el ámbito de la tecnología biomédica. Asimismo, ofrece un entorno exento de riesgos reales para el paciente, permitiendo la repetición y evaluación constante de prácticas seguras. Finalmente, el diseño modular de la herramienta abre la posibilidad para futuras mejoras y ampliaciones.

Palabras Clave: Electrobisturí, seguridad del paciente, entrenamiento, realidad virtual, gamificación, equipos biomédicos.

Abstract

The safe use of the electrosurgical unit (ESU) in surgical procedures represents a critical challenge for patient safety, as improper handling can lead to adverse events such as burns, surgical fires, and thermal injuries. Despite its high frequency of use, training of healthcare personnel in the use of this device is often limited and informal. In response to this need, the present thesis aimed to develop a training and evaluation tool for the safe use of the electrosurgical unit, based on virtual reality and gamification elements.

The specific objectives of the project included: identifying the main variables and challenges associated with the use of the electrosurgical unit; designing and implementing an interactive virtual environment that accurately simulates clinical practices related to this device; and verifying the functionality of the tool through a quantitative evaluation model.

The project was conducted as applied research with a mixed-methods approach. A literature review and structured interviews were carried out, followed by the design of a virtual reality training environment using the Unity engine. The resulting tool includes a complete level that guides the user through key stages such as skin preparation, placement of the return electrode, safe configuration of the equipment, and execution of cutting and coagulation functions.

The tool was evaluated using the Kirkpatrick model, addressing the levels of reaction, learning, behavior, and results. The data obtained showed high user acceptance, as well as significant improvements in knowledge and technical skills related to the safe use of the electrosurgical unit.

Among the main conclusions, the tool stands out as an innovative and effective strategy to strengthen the training of healthcare personnel in the field of biomedical technology. In addition, it offers an environment free of real risks to the patient, allowing for constant repetition and evaluation of safe practices. Finally, the modular design of the tool opens the possibility for future improvements and expansions.

Keywords: Electrosurgical unit, patient safety, training, virtual reality, gamification, biomedical equipment.

Índice general

1. Introducción	1
2. Planteamiento del Problema	3
3. Justificación	7
4. Objetivos	11
4.1. Objetivo General	11
4.2. Objetivos Específicos	11
5. Marco de Referencia	13
5.1. Áreas Temáticas	13
5.2. Marco Teórico	13
5.3. Trabajos Relacionados	27
6. Materiales y Métodos	29
6.0.1. Tipo de Estudio	29
6.0.2. Actividades	30
6.0.3. Materiales	32
7. Resultados y Discusión	33
7.1. Identificación de principales variables y retos en el uso del electrobisturí mediante revisión de literatura	33
7.1.1. Análisis crítico de variables y retos del electrobisturí en relación con la segu- ridad del paciente	35
7.1.2. Realización de entrevistas estructuradas a profesionales de la salud	36
7.1.3. Síntesis de conclusiones y recomendaciones a partir de los datos obtenidos	40
7.2. Diseño e implementación de una herramienta de gamificación para el entrenamiento en el uso del electrobisturí	41
7.2.1. Definición de objetivos de aprendizaje y competencias para la herramienta gamificada	41
7.2.2. Identificación de elementos de gamificación apropiados para el diseño del en- trenamiento	43
7.2.3. Diseño de la interfaz gráfica y componentes gamificados de la herramienta de entrenamiento	48
7.2.4. Implementación en entorno controlado para evaluación de funcionalidad	67
7.3. Verificación de la funcionalidad de la herramienta mediante un modelo de evaluación cuantitativo	67

7.3.1. Evaluación del entrenamiento mediante el modelo de Kirkpatrick	67
7.3.2. Aplicación del modelo de evaluación de Kirkpatrick en el grupo de entrenamiento	71
7.3.3. Análisis de datos sobre la funcionalidad de la herramienta en el desarrollo de competencias	71
7.3.4. Ajustes y mejoras de la herramienta a partir de los resultados de la evaluación	80
7.3.5. Elaboración del informe final y socialización de los hallazgos del proyecto . .	81
8. Conclusiones	83
9. Trabajos futuros	85
10. Anexos	87
Anexos	87
Anexo 1 – Instructivo para el uso seguro del electrobisturí	87
Bibliografía	97

Índice de figuras

3.1. Distribución de las principales causas de incidentes adversos asociados a equipos médicos. Modificado de [1]	8
5.1. Electrobisturí monopolar [2]	17
5.2. Electrobisturí bipolar [2]	17
5.3. Formas de onda características del electrobisturí: a) Corte, b) Mezclado, c) Coagulación [3].	19
7.1. Flujo completo del script <code>ElectricScalpel.cs</code> : interacción, seguridad y coordinación con el <code>LevelManager</code>	52
7.2. Flujo detallado de <code>HairManager.cs</code> : cálculo de progreso y comunicación con otros módulos.	53
7.3. Diagrama de flujo de <code>HairStrand.cs</code> : ciclo de corte y reporte.	54
7.4. Ciclo de actualización de <code>LifeManager.cs</code> y su integración con el HUD.	55
7.5. Gestión de instanciación y evaporación del agente líquido en <code>LiquidManager.cs</code>	56
7.6. Ciclo de alternancia de modo en <code>ModeManager.cs</code>	57
7.7. Flujo de cálculo y notificación de contacto en <code>PadAutoAdhesion.cs</code>	58
7.8. Proceso de validación de contacto en <code>PadContactManager.cs</code>	59
7.9. Detección y corte de vellos con <code>RazorClipper.cs</code>	60
7.10. Gestión de modos y potencia del generador en <code>WEMController.cs</code>	61
7.11. Macroflujo global de control y orquestación: <code>LevelManager.cs</code>	63
7.12. Vista general del entorno de entrenamiento en realidad virtual al inicio del Nivel 1.	65
7.13. Ejemplos de pantallas informativas y de navegación (canvas) de la herramienta.	65
7.14. Interacciones específicas dentro del entorno de entrenamiento en realidad virtual.	66
7.15. Interacción con la consola del electrobisturí en la simulación VR.	66
7.16. Simulación del uso del electrobisturí sobre el paciente en el entorno VR.	67

Índice de cuadros

5.1. Clasificación de ECRI de incidentes de dispositivos médicos [4].	15
7.1. Evaluación adaptada del modelo Kirkpatrick, Niveles 1 y 2.	69
7.2. Evaluación adaptada del modelo Kirkpatrick, Niveles 3 y 4.	70
7.3. Resultados de la evaluación - Nivel 1: Reacción.	73
7.4. Resultados de la evaluación - Nivel 2: Aprendizaje.	75
7.5. Resultados de la evaluación - Nivel 3: Comportamiento.	76
7.6. Resultados de la evaluación - Nivel 4: Resultados.	78

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha reconocido la importancia crítica de los dispositivos médicos en la atención sanitaria moderna, destacando su papel en la mejora de la salud de los individuos y comunidades [5]. Sin embargo, el uso inadecuado de estos dispositivos puede generar riesgos significativos para la seguridad del paciente, siendo los errores humanos y las deficiencias en la capacitación del personal factores contribuyentes clave [6, 7]. En este contexto, el electrobisturí se posiciona como un equipo de alto riesgo, utilizado en más del 80 % de los procedimientos quirúrgicos [8], cuya operación segura requiere un dominio técnico preciso y el cumplimiento estricto de normas y procedimientos.

Diversos estudios han evidenciado que la formación tradicional del personal asistencial en el uso del electrobisturí es limitada y, en muchos casos, informal [8, 9]. Esto contribuye a la ocurrencia de eventos adversos, tales como quemaduras, incendios quirúrgicos y lesiones térmicas [4, 10]. Por esta razón, en los últimos años se ha explorado el uso de estrategias innovadoras para el entrenamiento en tecnologías biomédicas, entre ellas la realidad virtual (VR) y la gamificación, las cuales han demostrado ser efectivas para mejorar la adquisición y retención de habilidades clínicas en entornos controlados y seguros [11, 12].

El presente proyecto parte de la necesidad de ofrecer una alternativa de capacitación más interactiva y estandarizada para el uso seguro del electrobisturí. El objetivo general de este trabajo fue desarrollar una herramienta de entrenamiento y evaluación basada en realidad virtual y elementos de gamificación, dirigida al personal asistencial. Para lograr este propósito, se plantearon como objetivos específicos: identificar las principales variables y retos asociados al uso del electrobisturí mediante una revisión de literatura y entrevistas; diseñar e implementar una herramienta virtual interactiva que reproduzca fielmente el contexto quirúrgico; y verificar su funcionalidad a través de un modelo de evaluación cuantitativo basado en el enfoque de Kirkpatrick.

La metodología empleada en este proyecto corresponde a una investigación aplicada con enfoque mixto. Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva y entrevistas estructuradas para la identificación de variables críticas. Posteriormente, se diseñó y desarrolló un entorno de realidad virtual utilizando el motor *Unity*, incorporando elementos de gamificación para fomentar el aprendizaje activo. Finalmente, la herramienta fue evaluada con usuarios mediante un modelo cuantitativo que valoró los niveles de reacción, aprendizaje, comportamiento y resultados.

Conceptualmente, el electrobisturí es un dispositivo médico que utiliza corriente de alta frecuencia para efectuar cortes y coagulación tisular durante procedimientos quirúrgicos [8]. La realidad virtual permite crear entornos inmersivos que facilitan el entrenamiento de habilidades en condiciones controladas [13], mientras que la gamificación introduce elementos de juego que incrementan la motivación y la efectividad del aprendizaje [14].

Este documento se organiza de la siguiente manera: el capítulo 2 presenta el planteamiento del problema; el capítulo 3, la justificación; el capítulo 4, los objetivos; el capítulo 5, el marco de referencia; el capítulo 6, los materiales y métodos; el capítulo 7, los resultados y discusión; el capítulo 8, las conclusiones; el capítulo 9, los trabajos futuros; y finalmente se incluyen los anexos y la bibliografía.

Planteamiento del Problema

En el área de la salud y atención médica, el manejo adecuado de los dispositivos médicos desempeña un rol fundamental en la prestación de cuidados seguros y efectivos para los pacientes. Su desarrollo ha ofrecido enormes ventajas en cuanto al diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Sin embargo, la rápida evolución tecnológica trae consigo una creciente complejidad, la cual se manifiesta en diversos aspectos claves. Entre ellos se encuentran falta de comunicación entre personal asistencial, la necesidad de contar con un personal capacitado para el manejo adecuado de estos equipos, identificación de errores, entre otros retos. Esto plantea desafíos importantes para el personal asistencial en cuanto al uso seguro de los equipos biomédicos: capacitaciones adecuadas, vigilancia y detección de problemas, errores de uso, fallos del dispositivo, actualizaciones y mantenimiento, entre otras.

Según la Organización Mundial de Salud (OMS) [5], se reconoce a los equipos biomédicos como un componente fundamental de los sistemas de salud; son esenciales para diagnosticar, tratar, rehabilitar y prevenir patologías de una manera segura y eficaz. Este reconocimiento ha llevado a un mayor énfasis en la seguridad del paciente, promoviendo el aprendizaje a través de errores mediante la creación de la Alianza Mundial para la Seguridad del Paciente [15]. Sin embargo, diversos reportes revelan cifras alarmantes de muertes accidentales debido a errores humanos, así como una alta incidencia de eventos adversos en profesionales de la salud en Latinoamérica y Colombia. Estos datos subrayan la necesidad imperativa de desarrollar estrategias y herramientas que minimicen los riesgos y garanticen la seguridad tanto para los pacientes como para el personal médico en el uso de la tecnología biomédica. Un reporte del Instituto de Medicina (IOM) muestra que el error humano es el responsable de 44 000 a 98 000 muertes accidentales anuales [16]. Por otro lado, en un estudio que habla sobre la prevalencia de eventos adversos y sus manifestaciones en profesionales de la salud, expone una prevalencia de eventos adversos del 19.8% en Latinoamérica, y en Colombia, una prevalencia del 13.1% [15].

La seguridad del paciente se define como “el conjunto de elementos estructurales, procesos, instrumentos y metodologías basadas en evidencias científicamente probadas que propenden por minimizar el riesgo de sufrir un evento adverso en proceso de atención de salud o de mitigar sus consecuencias.” [17]. Según el Emergency Care and Research Institute (ECRI) [7], estos eventos e incidentes adversos se pueden clasificar en cinco grupos: del dispositivo, de usuario, externo, fallo en el sistema de soporte y sabotaje. Dentro de esta clasificación, se expone cómo el escaso entrenamiento para el uso adecuado de las tecnologías en el quirófano pueden conllevar a que ocurran eventos e incidentes adversos, y de los diez principales peligros según ECRI en el 2016, el escaso entrenamiento

este ocupa el quinto lugar [18]. El manejo adecuado de los equipos biomédicos es esencial para asegurar cuidados seguros y efectivos en la atención médica. Cuando esto no se logra, puede conllevar a lesiones graves, o incluso, muerte. Alrededor de 1 de cada 10 pacientes recibe consecuencias al recibir atención médica, y al año más de 3 millones de personas fallecen como consecuencia de ello [19].

En una investigación realizada en el 2013, se halló que uno de los eventos adversos con las calificaciones de gravedad más altas está asociadas con el electrobisturí. Este equipo de alta complejidad se utiliza en más del 80% de los procedimientos y 15.9% de los eventos e incidentes reportados durante los procedimientos, se atribuyen a la electrocirugía [20]. Podemos encontrar que el uso de la electrocirugía puede ser desencadenante de algunos efectos adversos como son: lesiones térmicas accidentales, la toxicidad del humo o las interacciones de esta con los dispositivos cardiacos [21]. Según el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) [22], a pesar del esfuerzo por parte de los departamentos de ingeniería para mitigar los riesgos físicos de este equipo biomédico, la amenaza ante el manejo inadecuado en los servicios quirúrgicos sigue presente, esto puede ser atribuido a que el entrenamiento para el electrobisturí generalmente se obtiene de manera informal en el quirófano, lo cual genera una falta de preparación para el uso de este equipo [20].

En el artículo 24 del decreto 4725 del 2005 [23], se establece como requisito, dentro del proceso de adquisición de tecnología biomédica, la capacitación del personal. Si bien es cierto que eso se debe realizar con la compra de los equipos y dispositivos biomédicos, también se establece que el propietario tiene responsabilidad de velar por su correcto funcionamiento. Adicionalmente, esto no solo se establece como necesario para el proceso de adquisición, si no también, en el artículo 38 del decreto 4725 del 2005, se estipula que en la etapa posventa el fabricante o importador debe proporcionar servicios como lo son las capacitaciones requeridas para su operación. Por otro lado, el propietario debe asegurarse que el uso que se le está dando al dispositivo médico sea lo que está estipulado en el uso previsto del dispositivo y en los respectivos manuales entregados por el fabricante.

Teniendo en cuenta la normativa nacional y la naturaleza de la problemática, el Sistema Obligatorio de Garantía de la Calidad de la Atención en Salud (SOGCS) encabeza una política de seguridad del paciente [24], el cual tiene como objetivo prevenir sucesos que afecten negativamente la seguridad del paciente, y buscar estrategias para, reducir la ocurrencia de eventos e incidentes adversos.

Se ha podido presenciar que a pesar de que se implementen mecanismos de entrenamiento para lograr el manejo adecuado de los dispositivos médicos, según la National Health Service (NHS) [25], hay un registro deficiente del aprendizaje posterior al incidente, y esto puede resultar en lesiones graves o incluso muerte ocasionada por errores de operador. Por esta razón, además de implementar un programa de entrenamiento bien definido, es esencial que las instituciones dispongan de un sistema de evaluación efectivo que pueda medir la adherencia de la información, y el grado de aplicación de los conocimientos adquiridos.

El rápido avance tecnológico plantea la necesidad de adaptación y la implementación de medidas de control apropiadas para gestionar los riesgos inherentes a su utilización. En este contexto, es crucial reconocer la importancia del electrobisturí y su frecuente empleo en procedimientos quirúrgicos. Sin embargo, es vital tener presente que un manejo inadecuado de esta tecnología puede desencadenar eventos adversos serios. Por tanto, resulta imperativo establecer medidas de seguridad y proporcionar una formación adecuada al personal médico para garantizar un uso seguro y eficaz del electrobisturí, salvaguardando así la integridad y bienestar de los pacientes y personal asistencial.

Justificación

Los eventos e incidentes adversos son los culpables anualmente de millones de lesiones e incluso muertes por todo el mundo. Según un reporte que expone la incidencia de eventos adversos en Colombia [1], pone en relieve la existencia de diversos factores contributivos a los eventos adversos, estableciendo así 6 factores específicos relacionados a la incorporación de información e interacción efectiva entre profesionales de la salud y dispositivos médicos, los cuales representan más del 50 % de las causas de eventos adversos:

- Uso incorrecto.
- Usado por personal no entrenado.
- Omisión de pruebas de funcionamiento previo al uso con el paciente.
- Incorrecta adaptación de parte y accesorios al equipo médico.
- Falla en la aplicación de conocimientos.
- Mal manejo del equipo médico por falta de atención.

Entre los años 2010 y 2012 en Inglaterra, el 6% de fallecidos fue por una falla del equipo, operación errónea o una mala lectura [26]. En el 2006 en los Estados Unidos, los eventos adversos asociados a errores fueron la sexta causa de muerte en el país, habiendo 32 591 muertes por año, y más de un millón de registros de eventos anualmente [27].

A nivel nacional, en un estudio reportado del 2010 según los datos tomados de una institución de salud en Colombia, se reportaron 274 eventos adversos [1], y 23 de estos estaban asociados con el uso de dispositivos médicos, puntualmente el uso incorrecto de estos. Lo anteriormente mencionado resalta la importancia de una herramienta que pueda ayudar a identificar y abordar los factores contributivos de estos eventos.

De los 23 eventos adversos relacionados con dispositivos médicos, los cuales representan aproximadamente el 8,4% de todos los eventos ocurridos entre el 5 de diciembre y el 30 de diciembre de 2010 en una clínica de alta complejidad [1], se observa que 17 de ellos se debieron a 3 principales: el uso y manipulación (UM), el mantenimiento y calibración (MC) y la interfaz usuario-equipo (IUE). Siendo así la mayoría debidos a los profesionales del área de la salud. Por ello se plantea la necesidad de mejorar la incorporación de información y facilitar la interacción efectiva entre los

profesionales y los dispositivos, puesto que a pesar de que estos se puedan clasificar en serios y no serios, dependiendo de la gravedad, todos los incidentes implican riesgos para el paciente, personal asistencial, costos por la no calidad, entre otros.

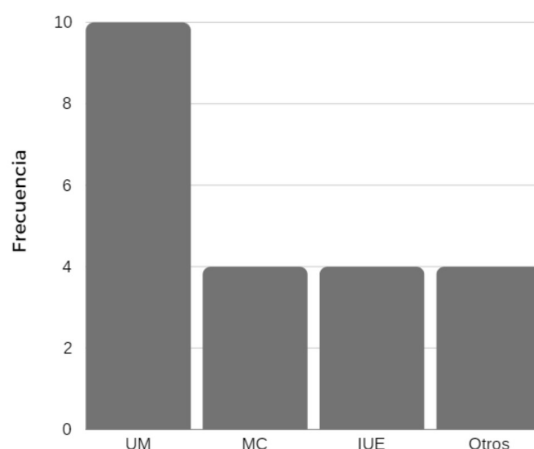


Figura 3.1: Distribución de las principales causas de incidentes adversos asociados a equipos médicos. Modificado de [1]

De acuerdo con el reporte [1], el 80 % de las causas se pueden atribuir a las razones planteadas en la Figura 3.1, los cuales explican la mayoría de los incidentes adversos documentados, el 45.45 % se relacionan al uso y manipulación, 18 % a mantenimiento y calibración, 18 % a la interfaz Usuario-equipos, y finalmente 18 % a otras causas. Al analizar la Figura 3.1, se observa que la mayor cantidad de incidentes reportados ($n=10$) están relacionados con el uso y manipulación de los equipos, en comparación con otras causas como mantenimiento correctivo, instalación y uso eléctrico, y otras categorías (cada una con $n=3$). Esta diferencia en frecuencias sugiere que el mal manejo de los equipos representa un factor crítico en la ocurrencia de incidentes, lo cual refuerza la necesidad de entrenar adecuadamente al personal asistencial.

La importancia de implementar una solución al problema radica en la reducción considerable de incidentes con dispositivos médicos, previniendo daños a pacientes y dispositivos mediante un mantenimiento y calibración adecuados, lo que aborda una parte predecible de los eventos y reduce los imprevistos.

La ausencia de acción oportuna ante este problema puede tener graves repercusiones en la salud pública y la confianza en el sistema de atención médica. Los eventos adversos por mal manejo de equipos biomédicos pueden causar lesiones evitables y desencadenar demandas legales contra instituciones, profesionales y fabricantes, con consecuencias financieras y de reputación significativas.

Este proyecto propone la implementación de estrategias de entrenamiento y herramientas de apoyo para reducir el riesgo de eventos adversos asociados con el uso inadecuado de dispositivos médicos, mejorando la seguridad del paciente y la calidad de la atención médica. Además, al aumentar la eficiencia y la efectividad en el uso de los dispositivos médicos, esta estrategia contribuye de manera significativa a la reducción de los costos asociados a la atención médica y la gestión de riesgos, al tiempo que fomenta métodos de enseñanza más interactivos y eficaces para el uso seguro de dispositivos médicos.

Esta problemática no afecta únicamente a los pacientes, también afecta a los profesionales de salud son considerados como segundas víctimas. Según un estudio que se realizó en un hospital de alta complejidad de Medellín en el año 2019, el 44 % de los profesionales asistenciales habían estado involucrados en un evento adverso, y de este grupo de personas, el 99 % de estos expresaron que tenían sentimientos de culpa, ansiedad, cansancio, dudas sobre sus decisiones; sentimientos de segunda víctima. El 95 % tenían disposición de recibir capacitaciones para afrontar estas consecuencias y conocer métodos para informar al paciente [15].

En [28] podemos observar que las estrategias de entrenamiento son eficientes en cuanto a la reducción de riesgos, eventos adversos, y también aumentan la eficiencia de los dispositivos médicos. Por esta razón, es imperativo sugerir herramientas que fomenten el uso eficaz, seguro y adecuado de las tecnologías en el ámbito de la salud. Los beneficios potenciales del proyecto son aún más amplios y abarcan áreas como la mejora de la confianza del paciente en el sistema de atención médica, la reducción de la carga emocional y psicológica en los profesionales de la salud, y el fomento de una cultura de seguridad y aprendizaje continuo en el ámbito médico.

Al identificar y abordar los factores contributivos específicos de los eventos adversos, el proyecto busca proporcionar información valiosa para el diseño y la fabricación de dispositivos médicos más seguros y efectivos en el futuro fortaleciendo los procesos de capacitación para personal técnico y asistencial. La realización de este proyecto no solo es necesaria y oportuna, sino que también ofrece una oportunidad significativa para mejorar la seguridad y la calidad de la atención médica.

La elección de la realidad virtual y la gamificación como enfoque metodológico para el desarrollo de esta herramienta se fundamenta en su reconocida capacidad para ofrecer entornos de aprendizaje inmersivos, seguros y controlados. La realidad virtual permite simular de manera precisa el contexto quirúrgico, posibilitando la repetición de procedimientos sin riesgo para el paciente y favoreciendo la adquisición de habilidades prácticas. Por su parte, la incorporación de elementos de gamificación incrementa la motivación y el compromiso de los usuarios, facilitando un aprendizaje más activo y efectivo. Además, el entorno virtual permite estandarizar la enseñanza y la evaluación, garantizando que todos los participantes se enfrenten a las mismas condiciones de entrenamiento. Esta combinación metodológica resulta particularmente pertinente para abordar los retos asociados al entrenamiento en el uso seguro del electrobisturí, ofreciendo una alternativa innovadora frente a las limitaciones de los métodos tradicionales de capacitación.

Objetivos

4.1. Objetivo General

- Desarrollar una herramienta de entrenamiento y evaluación para el uso seguro del electrobisturí por parte del personal asistencial mediante gamificación y realidad virtual.

4.2. Objetivos Específicos

- Identificar las principales variables y retos del uso del electrobisturí para reconocer sus impactos en la seguridad del paciente por medio de una revisión de literatura.
- Diseñar e implementar una herramienta basada en gamificación para el entrenamiento del personal asistencial en el uso del electrobisturí.
- Verificar la funcionalidad de la herramienta para el apoyo al aprendizaje con un modelo de evaluación de entrenamiento cuantitativo.

Marco de Referencia

5.1. Áreas Temáticas

Las siguientes áreas temáticas, referenciadas en la taxonomía IEEE, enmarcan los principales ejes de desarrollo del presente proyecto:

- Biomedical engineering - Biomedical instrumentation - Surgical instruments.
- Biomedical engineering - Medical safety.
- Biomedical engineering - Medical simulation.
- Computing and processing - Virtual reality.
- Computing and processing - Simulation.
- Computing and processing - Human computer interaction.
- Computing and processing - Educational technology.

5.2. Marco Teórico

5.2.0.1. Decreto 4725 del 2005

El decreto 4725 de 2005 reglamenta el régimen de los registros sanitarios, permisos de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano [23]. Tiene como objeto regular el régimen de registros sanitarios, los permisos de comercialización y vigilancia sanitaria, en lo relacionado con la producción, procesamiento, envase, empaque, almacenamiento, expendio, uso, importación, exportación, comercialización y mantenimiento de los dispositivos médicos para uso humano, los cuales serán de obligatorio cumplimiento por parte de todas las personas naturales o jurídicas que se dediquen a dichas actividades en el territorio nacional. En el artículo 2 de el decreto, se definen conceptos claves:

- **Dispositivo Médico Activo:** este se define como cualquier dispositivo médico cuyo funcionamiento dependa de una fuente de energía eléctrica o de cualquier fuente de energía distinta de la generada directamente por el cuerpo humano o por la gravedad, y que actúa mediante la conversión de dicha energía. No se considerarán dispositivos médicos activos, los productos sanitarios destinados a transmitir, sin ninguna modificación significativa [23].

- **Equipo Biomédico:** dispositivo médico operacional y funcional que reúne sistemas y subsistemas eléctricos, electrónicos o hidráulicos, incluidos los programas informáticos que intervengan en su buen funcionamiento, destinado por el fabricante a ser usado en seres humanos con fines de prevención, diagnóstico, tratamiento o rehabilitación. No constituyen equipo biomédico, aquellos dispositivos médicos implantados en el ser humano o aquellos destinados para un sólo uso [23].

5.2.0.2. Resolución 4816 de 2008

La resolución 4816 de 2008 reglamenta el Programa Nacional de Tecnovigilancia. En el artículo 61 del Decreto 4715 de 2005 se establece que el Ministerio de la Protección Social con el apoyo del INVIMA, permite identificar los eventos e incidentes adversos no descritos durante el uso de los dispositivos médicos en el territorio nacional [29].

- **Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA):** el INVIMA es un establecimiento público del orden nacional, de carácter científico y tecnológico, con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio independiente, adscrito al Ministerio de Salud y Protección Social y perteneciente al Sistema de Salud [30]. Su enfoque se centra en la gestión del riesgo de los productos bajo su competencia, con el propósito de proteger y promover la salud pública. Esto se logra mediante la coordinación entre diferentes sectores y la búsqueda constante de mejoras en el estado sanitario general [31].
- **Tecnovigilancia:** según el decreto 4725, la tecnovigilancia se define como el conjunto de actividades que tienen por objeto la identificación y la cualificación de efectos adversos serios e indeseados producidos por los dispositivos médicos, así como la identificación de los factores de riesgo asociados a estos efectos o características, con base en la notificación, registro y evaluación sistemática de los efectos adversos de los dispositivos médicos, con el fin de determinar la frecuencia, gravedad e incidencia de los mismos para prevenir su aparición [23]. Esta tiene como objeto fortalecer la protección de la salud y la seguridad de las personas directas o indirectas en el uso de dispositivos médicos [29]. Estas disposiciones se aplican al INVIMA, las secretarías departamentales y distritales de salud, fabricantes e importadores de dispositivos médicos, prestadores de servicios de salud y profesionales independientes, y los usuarios de dispositivos médicos en general.
- **Evento e incidente adverso**
 - **Evento Adverso:** un evento adverso es un daño no intencionado al operado, paciente o toda persona que está implicado de manera directa o indirecta que sucede como consecuencia del uso de un dispositivo médico [32].
 - **Incidente Adverso:** un incidente adverso se define como el potencial daño no intencionado al operado, paciente o toda persona que está implicado de manera directa o indirecta que sucede como consecuencia del uso de un dispositivo médico [32].

Estos se clasifican como serios o no serios. Un evento adverso serio es un daño no intencionado como consecuencia del uso de un dispositivo médico que pudo haber conllevado a la muerte o al deterioro grave de la salud del paciente, operador o toda persona que se esté involucrado indirectamente o directamente. Un evento adverso no serio es un daño no intencionado ocasionado por el uso de un dispositivo médico diferente a cualquier consecuencia que pudo haber conllevado a la muerte o deterioro serio a la salud del paciente, operador o todo aquel que está involucrado de manera directa o indirecta [32]. Cuando se habla de un incidente adverso serio se hace referencia al potencial riesgo de daño no intencionado que pudo haber llevado a la muerte o al deterioro serio de la salud del paciente, pero que, por causa del azar o la intervención de un profesional de la salud u otra persona, o una barrera de seguridad, no generó un desenlace adverso [29]. Un incidente adverso no serio es el potencial riesgo de daño no intencionado diferente a los que pudieron haber llevado a la muerte o al deterioro serio de la salud del paciente, pero que, por causa del azar o la intervención de un profesional de la salud u otra persona, o una barrera de seguridad, no generó un desenlace adverso [32]. Hay diversas causas para los eventos e incidentes adversos, según una clasificación realizada por ECRI, es posible identificar cinco grandes causas.

Dispositivo	Usuario	Externo	Fallos en el sistema de soporte	Manipulación o sabotaje
Error de diseño/etiqueta	Abuso de dispositivo	Electromagnético o radiofrecuencia	Error en políticas hospitalarias	Manipulación
Fallo en el dispositivo	Conexiones equivocadas accidentales	Ambiental (temperatura, humedad)	Fallo para entrenar y/o credenciales	-
Interacción con el dispositivo	Riego accidental	Gas medicinal y suministros de vacío	Almacenamiento inadecuado	-
Fallo de accesorio	Mal ensamblaje de equipo	Suministro de potencia(incluye gas medicinal)	Falta de investigación de accidente competente	-
Mantenimiento/testeo inadecuado	Fallo para realizar inspecciones de uso previo	Suministro de agua	Falta o fallo de entrantes y uso previo	-
Modificación inadecuada	Fallo para leer etiqueta	-	Deficiente evaluación previo a adquisición	-
Base del equipo no válida	Conexión equivocada	-	Uso inapropiado de dispositivos	-
Error de fabricación	Confianza inapropiada en característica automatizada	-	-	-
Error de empaque	Uso clínico incorrecto	-	-	-
Fallo de componente aleatorio	Configuraciones de control incorrecto	-	-	-

Cuadro 5.1: Clasificación de ECRI de incidentes de dispositivos médicos [4].

5.2.0.3. Decreto 1011 de 2006

El Decreto 1011 de 2006 establece el **Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad de la Atención de Salud (SOGCS)** [33], este es el conjunto de normas, instituciones, requisitos, mecanismos y procesos sistemáticos en el sector de salud para mejorar, generar y mantener la calidad de servicios de salud en el país. Este está integrado por cuatro componentes: Sistema Único de Habilitación (SUH), La Auditoría para el Mejoramiento de la Calidad de la Atención de Salud (PAMEC), Sistema Único de Acreditación (SUA) y el Sistema de Información para la Calidad en Salud [34]. Por otro lado, el Decreto también define conceptos importantes. En primer lugar, se habla acerca de la **atención de salud**, que se refiere al conjunto de servicios ofrecidos al usuario dentro del contexto de los procesos de aseguramiento. Esto incluye actividades, procedimientos e intervenciones médicas durante las etapas de promoción y prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación, disponibles para toda la población. Además, se define la **calidad de la atención de salud**, que implica proporcionar servicios de salud de manera accesible y equitativa a los usuarios individuales y a la comunidad en general. Esto garantiza un nivel profesional óptimo, considerando cuidadosamente el equilibrio entre beneficios, riesgos y costos, con el objetivo de lograr la adhesión y

satisfacción de los usuarios atendidos. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, es de suma importancia comprender el concepto de las **condiciones de capacidad tecnológica y científica**. Este concepto abarca los requisitos básicos que los Prestadores de Servicios de Salud deben cumplir en cuanto a estructura y procesos para cada uno de los servicios que ofrecen. Estos requisitos se consideran suficientes y necesarios para mitigar los principales riesgos que pueden afectar la vida o la salud de los usuarios durante la prestación de servicios de salud [33]. En concordancia con este marco, la **Resolución 3100 de 2019** establece los estándares de habilitación aplicables a los prestadores de servicios de salud en Colombia, detallando los criterios específicos que deben cumplirse en términos de estructura, procesos y resultados para garantizar la calidad y seguridad en la atención [35].

5.2.0.4. Electrobisturí

El electrobisturí es el equipo utilizado para la electrocirugía, la cual se basa en la aplicación de corriente alterna de alta frecuencia para generar calor y producir efectos térmicos controlados sobre el tejido biológico, tales como corte, coagulación, disección o fulguración [36]. Estas corrientes oscilan típicamente entre 300 kHz y 4 MHz, rango en el cual se evita la estimulación neuromuscular y se logra un calentamiento localizado eficaz [3]. La corriente es aplicada mediante un electrodo activo que concentra la energía sobre el tejido blanco, y es recolectada por un electrodo de retorno (en configuración monopolar) para cerrar el circuito. La modulación de la forma de onda, el voltaje pico y el ciclo de trabajo permiten variar el efecto clínico deseado, ya sea un corte preciso o una coagulación efectiva [36]. En la actualidad, las unidades modernas de electrobisturí incorporan microprocesadores que permiten controlar estos parámetros con mayor precisión, aumentando la seguridad y efectividad del procedimiento.

Este equipo es un generador de radiofrecuencia. Está compuesto por dos electrodos, uno activo y uno pasivo o de retorno. Los electrodos son utilizados para aplicar la corriente de radiofrecuencia del electrobisturí al paciente. En los procedimientos de electrocirugía monopolar, el electrodo de retorno se coloca directamente sobre el cuerpo del paciente y cuenta con una amplia superficie de contacto, lo que permite disipar de forma segura la corriente eléctrica. Este electrodo se ajusta antes del inicio del procedimiento para asegurar su correcta adhesión. Por otro lado, en la electrocirugía bipolar, ambos electrodos activo y de retorno están incorporados en el mismo instrumento, por lo que la corriente fluye únicamente a través del tejido localizado entre las puntas del dispositivo, sin necesidad de un electrodo de retorno externo. El electrodo activo es aplicado al sitio quirúrgico, para así lograr el efecto deseado, este electrodo generalmente tiene una punta pequeña. Como se mencionó previamente, la corriente de alta frecuencia que atraviesa el tejido es la que genera el efecto quirúrgico deseado, a través del calor creado. El grado de calefacción depende mucho de la resistencia del tejido. Existen dos tipos de electrodo activo:

- **Monopolar:** cuando se hace referencia a un electrobisturí de tipo monopolar, se implica el uso de un electrodo de retorno en forma de almohadilla. La corriente pasa desde el electrodo activo, atraviesa el tejido, llega al electrodo de retorno, y completa el circuito eléctrico.

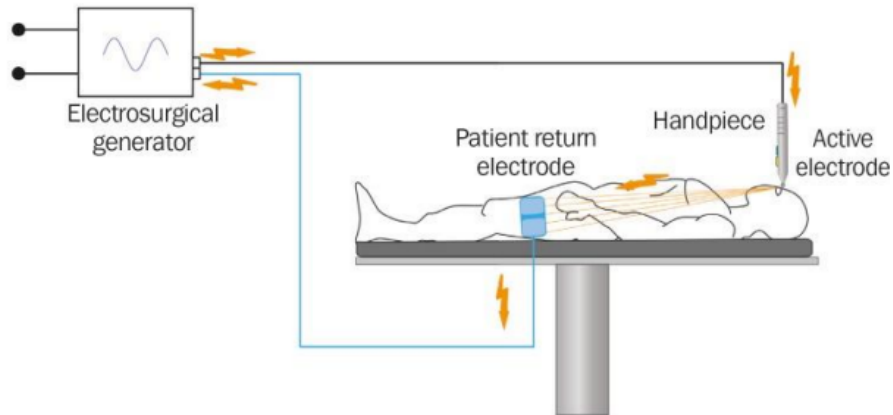


Figura 5.1: Electrobisturí monopolar [2]

- **Bipolar:** un electrobisturí de tipo bipolar, el lápiz tiene el electrodo activo y el de retorno ahí mismo, en contraste al de tipo monopolar donde el electrodo de retorno se encuentra al otro lado del cuerpo del sitio quirúrgico [36].

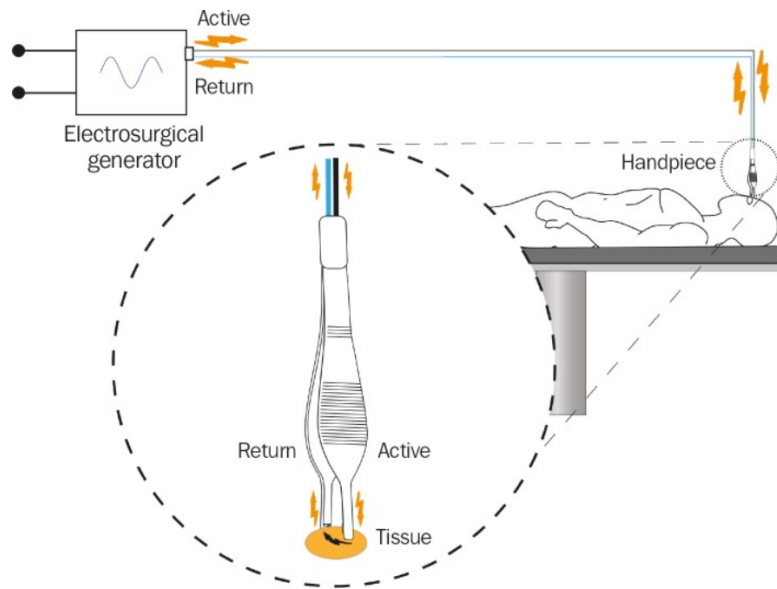


Figura 5.2: Electrobisturí bipolar [2]

Existen diferentes tipos de efectos quirúrgicos que se pueden realizar con el electrobisturí.

- **Disecación:** cuando una corriente de radiofrecuencia atraviesa el tejido, se genera calor y se

incrementa la temperatura en el sitio quirúrgico, este calor destruye y reseca las células. Esto se logra colocando el electrodo activo en contacto directo con el tejido y se utiliza una baja potencia.

- **Corte:** cuando se habla de corte, se utiliza una alta frecuencia y potencia. El electrodo activo debe separarse aproximadamente 1 milímetro del tejido. El corte genera una especie de chispa, lo cual crea un calor muy intenso, haciendo que las células exploten, y esta destrucción deja una cavidad. El electrodo se mueve por el tejido, chispeando de manera continua, creando así una insisión.
- **Fulguración:** la fulguración se logra cuando el electrodo activo tiene contacto con el tejido y luego se retira un par de milímetros para crear una separación. Mientras el electrodo activo se aleja, el alto voltaje crea un arco eléctrico el cual pasa desde el electrodo activo al tejido, y este arco largo quema y lleva la corriente de manera profunda al tejido, lo cual produce un chispeado intermitente. Esta chispa entrecortada no produce el suficiente calor para explotar las células, pero si ocasiona necrosis en ellas y carbonización de tejido, obteniendo coagulación, destrucción o remoción total del tejido. Este requiere una potencia media, entre la de corte y la de disección. Generalmente para la fulguración, se utiliza una forma de onda sinusoidal de corta duración, y la misma frecuencia que el corte, sin embargo la frecuencia de las ráfagas es significativamente menor.

Como el corte aplica una forma de onda continua, y el modo de coagulación utiliza ráfagas de un voltaje mayor, por lo tanto, en vez de cambiar entre corte y coagulación, existen opciones donde se mezclan estos efectos lo cuál permite un corte y coagulación simultáneo. Una forma de onda mezclada tiene un menor nivel de voltaje pero un ciclo de trabajo mayor que solo la coagulación. Un modo mezclado con un ciclo de trabajo mayor tendrá mas efecto de corte que uno con un ciclo de trabajo bajo.

En la Figura 5.3, es posible observar las diferentes formaciones de onda, y cómo el corte requiere una mayor frecuencia pero menor voltaje, contrario a mezcla y coagulación, que son pulsaciones de alta frecuencia.

Al producir tan alta corriente, el electrobisturí puede lesionar tanto al paciente como el operador si no es usado y mantenido de la manera correcta. La mayoría de los eventos asociados al uso de este equipo son quemaduras en el electrodo de retorno e incendios quirúrgicos[37], lo cuál implica lesiones térmicas accidentales, la toxicidad del humo, interferencia con marcapasos, entre otras. Según un reporte que publicó ECRI en 2018, donde se habla acerca de los 10 mayores riesgos de la tecnología médica, se encuentra el electrobisturí, donde se menciona que los electrodos activos pueden provocar quemaduras en el paciente o incluso incendios [38].

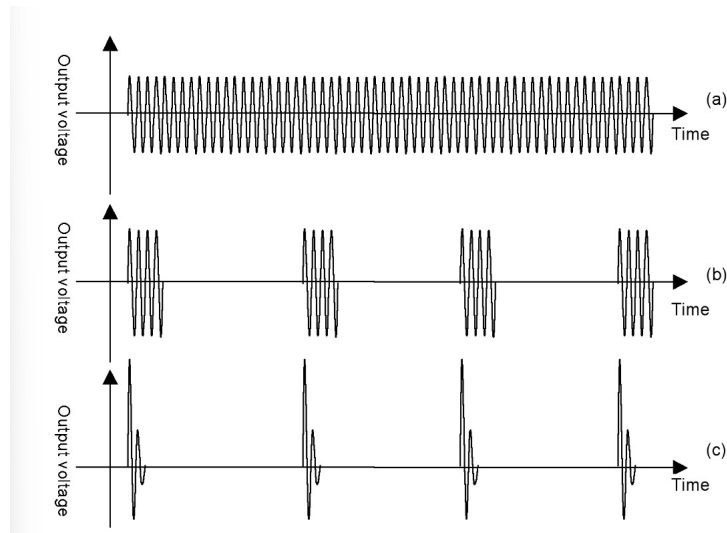


Figura 5.3: Formas de onda características del electrobisturí: a) Corte, b) Mezclado, c) Coagulación [3].

5.2.0.5. IEC60601

La Comisión Internacional Electrotécnica (IEC) publicó una serie de estándares internacionales que establecen la seguridad y desempeño de los requisitos para equipos biomédicos eléctricos [39]. Estos estándares buscan garantizar la seguridad de los pacientes, minimizando el riesgo de peligros eléctricos, como lo serían quemaduras o descargas eléctricas.

5.2.0.6. Realidad Virtual

La realidad virtual (VR), estimula un ambiente o mundo virtual el cual permite la inmersión del usuario hasta tal punto que se produce la sensación de que el usuario realmente se encuentra en este espacio totalmente simulado [13]. Generalmente, esta tecnología se utiliza con un montaje en la cabeza, lo cuál apoya en el bloqueo del ambiente exterior y permitiendo que el usuario se termine de sumergir. Se ha logrado caracterizar el VR en tres propiedades principales: telepresencia, interactividad e inmersión. Las capacidades de la tecnología basada en la inmersión se pueden medir en cuanto a su inclusión, extensión, entorno, viveza, y que tanto la retroalimentación propioceptiva de los movimientos corporales se alinea con la información que se muestra. Por otro lado, también se ha caracterizado la inmersión de la siguiente forma [40]:

- Inmersión sensorial
- Inmersión basada en retos
- Inmersión imaginativa

5.2.0.7. Entrenamiento basado en realidad virtual

La realidad virtual cada vez se está utilizando más para la educación y entrenamientos [13]. Teniendo en cuenta el principio de VR, en el cual se simula digitalmente escenarios que asemejan fuertemente a la vida real, se ha mostrado que este ambiente activo de aprendizaje, experiencias y sonidos, es una herramienta de alta utilidad en el entrenamiento debido a que se disuelve la barrera entre lo virtual y lo real [41]; es una experiencia de aprendizaje totalmente inmersa. Por otro lado, esto es más costo efectivo y seguro a la hora de simular escenarios, proporciona un ambiente libre de riesgos donde se puede aprender haciendo. Se ha demostrado que la retención de habilidades con la realidad virtual es alta. Adicionalmente a esto, el entrenamiento es más rápido y genera una mayor conexión emocional con el contenido que en un aula de clases, brinda confianza en lo aprendido [42].

5.2.0.8. Gamificación

La gamificación está definida como el uso de elementos o técnicas de diseño de juego, pensamiento de juego y mecánicas de juego, usados para realzar contextos de no-juego. Se utiliza en búsqueda de alentar a las personas en sus procesos de aprendizaje, haciendo que se vea más atractivo, haciendo que las tareas sean más interesantes [43].

La gamificación en contexto de aprendizaje, o aprendizaje gamificado, propone que el contenido instructivo influencia directamente al aprendizaje como también los comportamientos, debido a que esta herramienta no es utilizada en búsqueda de reemplazar la instrucción, sino apoyar y mejorarla, debido a que el contenido instructivo es un prerequisite para una gamificación exitosa. El objetivo de la gamificación es directamente influir en comportamientos y actitudes relevantes del aprendizaje, haciendo que éstas afecten la relación entre el contenido instructivo y los resultados de aprendizaje. Propone un efecto indirecto positivo en los resultados de aprendizaje. Esto en conjunto con la teoría de la auto determinación proporciona un aprendizaje de alta calidad. Lo anteriormente mencionado es debido a que psicológicamente existe la necesidad de competencia, autonomía y relación social; la satisfacción de estas necesidades genera motivación. Esto se logra con el enriquecimiento de los ambientes de aprendizaje con elementos de diseño de juegos. Desde la perspectiva de la auto determinación, es crucial brindar retroalimentación [44].

5.2.0.9. Unity

Unity es un motor de desarrollo de videojuegos y entornos interactivos en tiempo real, ampliamente utilizado tanto en la industria del entretenimiento como en campos como la simulación médica, la educación, la realidad virtual (VR) y la realidad aumentada (AR). Su principal fortaleza radica en su interfaz visual intuitiva, soporte multiplataforma y una comunidad global activa, lo que facilita la creación de aplicaciones interactivas complejas sin requerir conocimientos avanzados en programación gráfica de bajo nivel[45].

Unity permite trabajar mediante un entorno visual donde los objetos pueden ser manipulados directamente en la escena y sus comportamientos son definidos principalmente a través de scripts

escritos en C#. Además, ofrece una amplia biblioteca de recursos, soporte para física en tiempo real, animaciones, gestión de iluminación avanzada, sonido 3D y herramientas para la integración de sistemas de realidad virtual y aumentada[46].

El uso de Unity se ha expandido a contextos educativos y de simulación médica debido a su capacidad de generar entornos inmersivos y realistas a bajo costo. Esto ha permitido desarrollar simuladores quirúrgicos, entrenadores virtuales y escenarios de práctica segura, aportando ventajas sobre métodos tradicionales al permitir la repetición y evaluación de procedimientos sin riesgo para el paciente[47, 48].

5.2.0.10. Modelos de evaluación de entrenamiento

Existen diversos modelos de evaluación de entrenamiento, entre ellos están:

- **Kirkpatrick:** este modelo de evaluación de entrenamiento se basa en cuatro componentes: reacción, aprendizaje, comportamiento y resultado. Este toma en cuenta el estilo de entrenamiento tanto formal como informal [49].
- **CIRO:** el modelo de evaluación de entrenamiento CIRO, se basa en contexto, aporte, reacción y resultado. Este modelo proporciona un acercamiento holístico. Este modelo enfatiza la visión comprensiva de la evaluación de entrenamiento considerando el contexto completo, la calidad de materiales de entrenamiento, reacciones de participantes, y los resultados tangibles de un programa de entrenamiento. Esto permite asegurar que los esfuerzos de entrenamiento no sólo están bien diseñados y atractivos, sino que contribuyen de manera efectiva a la mejora de desempeño y éxito organizacional [49].
- **ECOE:** el ECOE es el Exámen Clínico Objetivo Estructurado. Este método de evaluación de entrenamiento para evaluar competencias, habilidades y destrezas. Éste utiliza un circuito de numerosas estaciones en las que hay diversos escenarios clínicos [50].

5.2.0.11. Normativa Uso Seguro Electrobisturí

Como se ha mencionado anteriormente, el electrobisturí es uno de los equipos biomédicos más utilizados en procedimientos quirúrgicos, destacándose por su eficiencia en corte y coagulación de tejidos mediante corriente eléctrica. Sin embargo, su uso implica una serie de riesgos potenciales tanto para los pacientes como para el personal asistencial, incluyendo quemaduras, daños accidentales, e incluso incendios en el área quirúrgica. Para minimizar estos riesgos y garantizar una práctica clínica segura, existen normativas y estándares específicos que regulan su manejo adecuado. Para este, se tomaron los estándares de práctica de la *AST (Asociación de Tecnólogos de Cirugía)*, la *AORN Journal* y el manual de servicio del electrobisturí WEM SS 501 SX.

El AST desarrolló ciertos estándares de práctica en búsqueda del apoyo a instalaciones de salud para reforzar que éstas tengan las mejores prácticas en cuanto a la seguridad de electrocirugía en el

ambiente peri operativo. Estos estándares proporcionan un esquema que los miembros del entorno quirúrgico pueden utilizar para desarrollar e implementar políticas y procedimientos para la seguridad de electrocirugía, y éstos son presentados con el entendimiento de que es la responsabilidad de la institución de salud de desarrollar, aprobar y establecer políticas y procedimientos para la seguridad de la electrocirugía, de acuerdo a los protocolos establecidos en estas mismas.

Cuando se habla sobre el uso seguro del electrobisturí, según el AST, existen numerosos estándares de práctica, a continuación se destacan los relevantes al uso durante procedimientos quirúrgicos para así mitigar lesiones peri operativas.

Estándar de Práctica III: Cuando el procedimiento quirúrgico depende del uso de electrocirugía monopolar, se deben seguir los principios de seguridad del posicionamiento correcto del electrodo de retorno para así reducir riesgos para el paciente de lesiones peri operativas.

- Previo al posicionamiento del electrodo de retorno, la piel del paciente donde se va a colocar el electrodo debe ser inspeccionado y la condición de piel documentada. Por otro lado, se debe evaluar la cantidad de vello corporal presente y evaluar si esta se debe retirar.
- Si la piel presenta lesiones o algún tipo de desorden en la piel, se debe seleccionar otro sitio para el electrodo.
- La piel debe estar libre de crema, sangre, solución de preparación, entre otras; el electrodo debe ser aplicado a piel seca y limpia para así asegurar contacto completo con la piel. Las soluciones que se utilizan para preparar al paciente no se deben acumular por debajo del electrodo de retorno, estas pueden ocasionar que el electrodo no se adhiera a la piel y puede causar un incendio quirúrgico si estos líquidos están expuestos a chispas del electrodo activo.
- El tamaño adecuado del electrodo de retorno debe ser seleccionado según el tamaño del paciente, por ejemplo un adulto pequeño podrá requerir un tamaño pediátrico, esto es importante ya que se debe asegurar el contacto completo del electrodo con la piel para así cerrar el circuito. El electrodo no debe ser cortado o doblado para cambiar su tamaño.
- Se debe emplear para la electrocirugía monopolar un electrodo de retorno. Este es de un solo uso y su adecuado descarte posterior constituye un requerimiento normativo en los procedimientos de electrocirugía monopolar. En caso de que se requiera cambiar la posición del electrodo, es obligatorio emplear uno nuevo, ya que la falta de adhesivo puede impedir una correcta adherencia a la piel del paciente. No obstante, es relevante reconocer que, en determinadas instituciones, el cumplimiento de esta disposición puede verse obstaculizado por restricciones de recursos o limitaciones en la infraestructura.
- Se debe inspeccionar la fecha de vencimiento del electrodo, y desechar si este se encuentra expirado. Adicionalmente, se debe inspeccionar la condición del electrodo ya que este no debe

presentar grietas o sequedad en el adhesivo. También es importante revisar el estado del cable del electrodo, y desechar de el si se encuentra un daño.

- Se debe colocar el electrodo de retorno posterior al posicionamiento del paciente, debido a que esto puede ocasionar desprendimiento, brecha o un efecto de túnel lo cuál permite la acumulación de humedad debajo del electrodo. Adicionalmente, al posicionar al paciente, se debe asegurar que no esté en contacto con metal ya que este puede generar un camino alternativo para que pase la corriente eléctrica.
- El electrodo se debe posicionar sobre un músculo grande con un buen suministro de sangre, debido a que la mayoría del agua del cuerpo se encuentra en el musculo, y el agua es un buen conductor de electricidad. El electrodo debe estar sobre el mismo lado de la intervención quirúrgica y lo mas cerca posible al sitio quirúrgico, esto permite que la corriente eléctrica se desplace la menor distancia posible y asimismo se reduce el riesgo de que la corriente tome un camino alterno. Se debe evitar la colocación sobre prominencias óseas si es posible. El tejido adiposo contiene poca agua y es un mal conductor de electricidad e impide el flujo de esta. Si el paciente presenta algún desorden que afecta la cantidad de tejido musculoso en el cuerpo, el electrodo se posiciona distante del sitio quirúrgico o inclusive al lado contrario.
- El electrodo de retorno no se debe posicionar sobre una prótesis de metal.
- Los electrodos del monitoreo del paciente, como lo pueden ser electrodos de un electrocardiograma, se deben ubicar lo más distante posible al sitio quirúrgico. La división de corriente se da cuando la corriente eléctrica se divide y sigue el camino que tenga menor resistencia para lograr completar el circuito. El entorno quirúrgico puede ocasionar esto, por ejemplo los electrodos de monitoreo del paciente.
- El paciente se debe retirar toda la joyería de metal. Este es un potencial riesgo de quemadura ya que puede calentar el metal y generar daño al tejido, o por otro lado la joyería puede servir como un camino alterno para que viaje la corriente eléctrica.
- Cuando se realiza monitoreo interoperativo con una aguja, se debe usar electro cirugía de modo bipolar.
- No se debe utilizar ningún tipo de cinta para fijar el electrodo de retorno sobre el paciente, si este se desubica, se debe notificar al cirujano, apagar el equipo médico, y debe ser reemplazado por un electrodo de retorno nuevo.
- Cuando se ha posicionado el electrodo de retorno, se debe realizar una inspección visual para confirmar contacto completo con la piel.
- Los electrodos de retorno se deben almacenar en un entorno seco para evitar daños.
- Si durante la intervención quirúrgica se emplea más de un electrobisturí, se debe usar un electrodo de retorno por cada equipo biomédico.

Estándar de práctica IV: El personal asistencial debe seguir los principios de seguridad para el cuidado y manejo del electrobisturí.

- Se debe inspeccionar y evaluar el equipo previo a su uso según las indicaciones del fabricante. Se debe probar la alarma de advertencia, esta se activa cuando el electrodo de retorno no está conectado al electrobisturí.
- Las alarmas de advertencia deben ser audibles en todo momento durante el uso del electrobisturí, esto es de suma importancia debido a que estas alarmas advierten si hay un funcionamiento defectuoso del electrobisturí o del circuito eléctrico.
Existe un tono de control que se activa siempre que el electrodo activo se encuentra en uso.
- Los ajustes de poder para corte y coagulación serán solicitados por el cirujano y se debe buscar utilizar el nivel mas bajo de poder apropiado para la intervención quirúrgica.

Estándar de práctica V: El cable eléctrico del electrobisturí debe recibir mantenimiento y estar en condiciones óptimas.

- La tierra de este equipo es de suma importancia ya que esto previene lesiones al paciente y personal asistencial. El electrobisturí viene con un cable eléctrico de tres puntas para enchufar, la tercera punta corresponde a la tierra, esta no se debe retirar para que pueda usarse con un enchufe el cual no tenga tierra.
- No se puede utilizar un cable de extensión para el cable del electrobisturí.

Estándar de práctica VI: Se deben seguir los principios de seguridad para el cuidado y manejo adecuado al utilizar el electrodo activo monopolar.

- Se debe inspeccionar el electrodo activo, tanto la punta como el cable. Si estos presentan algún daño se debe reemplazar el electrodo activo.
- Las puntas del electrodo se deben usar según las indicaciones del fabricante, han resultado fuegos quirúrgicos por el uso indebido de las puntas del electrodo activo. Se debe asegurar que la punta no se encuentre suelta. Adicionalmente no se deben poner otros materiales para extender el aislamiento del electrodo.
Se debe estar limpiando la punta del electrodo activo de escara, la acumulación de esto impide el flujo de corriente eléctrica y puede servir como material inflamable.
- El electrodo activo cuando no se encuentra en uso, debe estar ubicado en una funda de seguridad seca y con buen aislamiento para de esta manera evitar activación inadvertida o contaminación si esta se desliza de la mesa quirúrgica.
- Se debe prevenir que el cable del electrodo activo se enrede o se doble y así reducir el riesgo de fuga de la corriente y sobrecalentamiento debido a acumulación de corriente lo puede ocasionar corrientes extraviadas y acoplamiento capacitivo.

- Previo a la incisión a la piel, se debe realizar una revisión final para asegurar que el cable del electrodo activo esté conectado a la salida correcta del electrobisturí, y se debe activar de manera rápida el electrodo activo a modo de prueba.
- Agentes inflamables que se pueden utilizar en la preparación del paciente, se deben dejar secar completamente previo al uso del electrodo activo para evitar incendios quirúrgicos. Los vapores de estos agentes también son inflamables. Previo a cubrir el paciente, cualquier solución utilizada debe estar completamente seca para evitar vapores atrapados.
- El uso del electrobisturí para cirugías de vía respiratoria presenta riesgos particulares. Según ECRI, el uso inadecuado del electrobisturí en entornos enriquecidos con oxígeno puede causar fuegos quirúrgicos. Un entorno enriquecido de oxígeno presenta más de 23 % de oxígeno, y este entorno se encuentra comúnmente en la orofaringe.
- El electrobisturí no se debe usar cuando se ingresa el trato gastrointestinal, ya que este contiene gases inflamables como metano, el cual puede ocasionar un fuego si se está utilizando un electrobisturí [51].

5.2.0.12. Marco Ético Legal

La inclusión del marco ético legal en este proyecto resulta fundamental, dado que el estudio implicó la interacción directa con personas a través de entrevistas y evaluaciones. Por este motivo, fue necesario someter el proyecto a revisión y aprobación por parte del Comité de Ética de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali. Este marco permite asegurar que el desarrollo de la investigación se ajusta a las disposiciones normativas nacionales e internacionales en materia de ética en investigación con seres humanos, garantizando el respeto por los derechos, la dignidad y la seguridad de los participantes.

- La Resolución 8430 de 1993 es una normativa expedida por el Ministerio de Salud de Colombia que establece las directrices científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. En su contenido, se clasifica la investigación en diferentes niveles de riesgo y se establecen criterios éticos fundamentales para la protección de los sujetos de investigación.

Uno de los aspectos más relevantes de esta resolución es el consentimiento informado, que se encuentra regulado en su artículo 15, el cual establece los elementos esenciales que debe contener dicho documento para garantizar la autonomía, seguridad y derechos de los participantes en cualquier estudio. Estos parámetros incluyen:

- “La justificación y los objetivos de la investigación.”
- “Los procedimientos que vayan a usarse y su propósito incluyendo la identificación de aquellos que son experimentales.”
- “Las molestias o los riesgos esperados.”

- “Los beneficios que puedan obtenerse.”
- “Los procedimientos alternativos que pudieran ser ventajosos para el sujeto.”
- “La garantía de recibir respuesta a cualquier pregunta y aclaración a cualquier duda acerca de los procedimientos, riesgos, beneficios y otros asuntos relacionados con la investigación y el tratamiento del sujeto.”
- “La libertad de retirar su consentimiento en cualquier momento y dejar de participar en el estudio sin que por ello se creen perjuicios para continuar su cuidado y tratamiento.”
- “La seguridad que no se identificará al sujeto y que se mantendrá la confidencialidad de la información relacionada con su privacidad.”
- “El compromiso de proporcionarle información actualizada obtenida durante el estudio, aunque ésta pudiera afectar la voluntad del sujeto para continuar participando.”
- “La disponibilidad de tratamiento médico y la indemnización a que legalmente tendría derecho, por parte de la institución responsable de la investigación, en el caso de daños que le afecten directamente, causados por la investigación.”
- “En caso de que existan gastos adicionales, éstos serán cubiertos por el presupuesto de la investigación o de la institución responsable de la misma.”

Además, la resolución enfatiza la necesidad de que el consentimiento informado sea obtenido de manera voluntaria, sin coerción o manipulación, asegurando que el sujeto comprenda plenamente los aspectos esenciales de la investigación antes de aceptar participar.

Este estudio se clasifica como de riesgo mínimo según el artículo 11 de la Resolución 8430 de 1993, dado que implica únicamente métodos no invasivos ni experimentales que incluyen encuestas, entrevistas y evaluaciones enfocadas a la percepción, conocimiento y habilidades técnicas de los participantes en relación con el uso adecuado del electrobisturí. No se realizarán intervenciones que involucren un riesgo mayor al habitual en la vida cotidiana.

[52]

- La **Declaración de Helsinki** es un conjunto de principio éticos frente a investigación médica la cual incluye participantes humanos. Esta declaración cubre investigaciones que buscan mejorar el diagnóstico, terapia e intervenciones preventivas.

El documento establece que el propósito principal de la investigación médica es mejorar la salud y el bienestar de los participantes, enfatizando que debe llevarse a cabo respetando sus mejores intereses. Asimismo, destaca la importancia del consentimiento informado, asegurando que los participantes comprendan los riesgos y beneficios de la investigación antes de tomar una decisión libre y voluntaria [53].

En este contexto, la Declaración de Helsinki incorpora principios bioéticos fundamentales, entre ellos:

- **Principio de beneficencia:** Los investigadores tienen la obligación de maximizar los beneficios para los participantes y la sociedad, promoviendo el bienestar y asegurando que los estudios generen conocimiento útil sin comprometer la seguridad de los sujetos [54]
- **Principio de justicia:** La selección de los participantes debe ser equitativa, evitando cualquier tipo de explotación o discriminación. Además, se debe garantizar que los beneficios de la investigación sean accesibles a todos los grupos poblacionales y que no recaigan injustamente los riesgos sobre poblaciones vulnerables [55]
- **Principio de no maleficencia:** Se debe evitar causar daño a los participantes. Esto implica minimizar los riesgos de la investigación y garantizar que los posibles efectos adversos no superen los beneficios esperados. Cualquier investigación que exponga a los participantes a riesgos desproporcionados es considerada inaceptable [56]

Estos principios, junto con otros lineamientos éticos establecidos en la Declaración de Helsinki, proporcionan un marco esencial para garantizar la protección de los sujetos en la investigación médica y asegurar la integridad científica y moral del proceso.

5.3. Trabajos Relacionados

- **Mejora de habilidades en la seguridad del paciente implementando una estrategia de entrenamiento en el personal asistencial:** se observa una tendencia creciente a nivel mundial hacia riesgos y eventos adversos asociados con la implementación de nuevas tecnologías en salud. Uno de los principales factores que contribuyen a este fenómeno es el error humano, especialmente cuando no se proporciona una formación adecuada al personal asistencial. En este contexto, el trabajo de Arias, Camacho y Osorno propone una estrategia de entrenamiento dirigida a fortalecer las habilidades del personal en torno a la seguridad del paciente. El estudio se desarrolla mediante la implementación de sesiones educativas y evaluaciones pre y post entrenamiento, con el objetivo de generar cambios positivos en el conocimiento, la actitud y la práctica del equipo asistencial. Esta intervención busca promover el uso responsable, comprometido y profesional de los recursos tecnológicos disponibles, contribuyendo así a mejorar la calidad de la atención médica [28].
- **Virtual Reality Training for Health-Care Professionals:** los cambios en la prestación de servicios de salud están remodelando la educación de los profesionales de la salud. Este trabajo habla de como la Realidad Virtual emerge como una herramienta prometedora en la formación de profesionales de la salud, ofreciendo experiencias inmersivas y prácticas que mejoran el aprendizaje. Desde aplicaciones de telecirugía hasta simulaciones interactivas, la realidad virtual aborda diversas áreas de capacitación. Este estudio explora los beneficios y el potencial de la realidad virtual en la educación y formación en salud, así como las investigaciones y proyectos relevantes en este campo [57].

- **Electrosurgery: short-circuit between education and practice:** la electrocirugía es común en cirugía, pero su uso incorrecto puede causar eventos adversos graves. El estudio evalúa la formación en electrocirugía para residentes en Países Bajos. Este grupo de personas completaron un cuestionario sobre formación y eventos adversos. Se exponen los siguientes resultados: El 69 % recibió formación, mayormente una conferencia. El 30 % experimentó eventos adversos. La formación teórica en electrocirugía es limitada, y se requiere una educación más extensa para mejorar la seguridad del paciente [58].
- **Metodología para la validación de competencias y habilidades asociadas al uso seguro de la tecnología biomédica en el hospital universitario fundación Valle del Lili:** este proyecto desarrolla una metodología para validar las habilidades del personal en el uso seguro de la tecnología biomédica, fortaleciendo así los programas de capacitación y contribuyendo a la seguridad del paciente y del personal. Se realiza un diagnóstico del programa de capacitación, se determina el método de evaluación más adecuado utilizando AHP y se diseña la metodología. Luego, se seleccionan equipos biomédicos y se aplica la metodología en una prueba piloto. Finalmente, se socializan los resultados y se desarrolla un procedimiento para implementar la metodología como política institucional [59].
- **Diseño de herramientas para el proceso de capacitación en el buen uso de equipos biomédicos en la Clínica Pabón SAS:** el proyecto de pasantía institucional en el Centro de Cuidados Cardioneurológicos Pabón S.A.S se enfoca en mejorar el proceso de capacitación del personal en el uso de equipos biomédicos. Esto implica realizar un análisis exhaustivo del proceso actual de capacitación, diseñar herramientas efectivas de capacitación, implementar sesiones de entrenamiento y evaluar el impacto del aprendizaje. En resumen, el proyecto busca fortalecer la capacitación del personal para garantizar un uso seguro y efectivo de los equipos biomédicos en la institución [60].

Materiales y Métodos

6.0.1. Tipo de Estudio

El proyecto correspondió a un estudio de tipo investigación aplicada, con un diseño orientado al desarrollo tecnológico mediante gamificación en realidad virtual. Para su ejecución, se planteó una metodología con enfoque mixto, cualitativo y cuantitativo. En primer lugar, se aplicó un enfoque cualitativo a través de entrevistas estructuradas, con el propósito de identificar variables técnicas y operativas asociadas al uso del electrobisturí y su impacto en la seguridad del paciente. En segundo lugar, se empleó un enfoque cuantitativo mediante la implementación del modelo de evaluación de Kirkpatrick, con el fin de verificar la eficacia del entrenamiento proporcionado a través de la herramienta desarrollada.

El desarrollo de este proyecto requirió una revisión de literatura exhaustiva, dado que la gamificación aún se encuentra en constante investigación para evaluar su efectividad en el proceso de aprendizaje. Para implementar el entorno simulado, se emplearon recursos de código abierto (open source). Asimismo, fue necesario contar con un espacio físico adecuado para la realización de las pruebas en realidad virtual, garantizando la seguridad y movilidad de los usuarios durante el entrenamiento. Finalmente, la funcionalidad de la herramienta fue verificada mediante una evaluación aplicada a los usuarios al finalizar el proceso de capacitación.

Dentro de la metodología se contemplaron variables como la percepción subjetiva del personal asistencial respecto al uso del electrobisturí y la autoconfianza en sus habilidades técnicas tras la capacitación. Estas variables fueron abordadas mediante:

- Entrevistas estructuradas orientadas a conocer experiencias personales y percepciones individuales relacionadas con el uso del electrobisturí.
- Evaluaciones de satisfacción y autoevaluaciones, correspondientes a los niveles de reacción y aprendizaje del modelo de Kirkpatrick, con el fin de captar la percepción y seguridad en las competencias adquiridas tras el entrenamiento.

Se incorporó el componente ético dentro de la metodología, cumpliendo con los principios éticos fundamentales mediante:

- Aplicación del consentimiento informado que detalla claramente objetivos, procedimientos, riesgos mínimos y beneficios para los participantes.

- Garantía de confidencialidad mediante la asignación de códigos para proteger la identidad de los participantes.
- Aplicación de la Resolución 8430 de 1993 y la Declaración de Helsinki confirmando que el estudio corresponde a un riesgo mínimo (Artículo 11 Resolución 8430).
- Comunicación clara y constante con los participantes, proporcionando vías accesibles para resolver dudas o presentar inquietudes mediante contactos directos con investigadores y el comité de ética institucional.

El riesgo mínimo identificado en este estudio estuvo relacionado con posibles molestias emocionales menores, como ansiedad, estrés leve o incomodidad durante las entrevistas y evaluaciones. Asimismo, se contemplaron efectos transitorios derivados del uso de la realidad virtual, tales como fatiga visual leve o ligera desorientación. Para mitigar estos riesgos, se permitió a los participantes tomar descansos o suspender la sesión en cualquier momento en caso de presentar incomodidad. Todas las sesiones fueron supervisadas permanentemente por los miembros del equipo investigador.

El proyecto garantizó estrictamente la confidencialidad y el anonimato de todos los participantes. Los datos recolectados durante entrevistas, evaluaciones y pruebas fueron almacenados en una base de datos protegida, con acceso exclusivo para el equipo investigador. En ningún momento se divulgaron datos personales identificables en informes, presentaciones, publicaciones ni en ningún otro tipo de difusión relacionada con el proyecto.

6.0.2. Actividades

De acuerdo con los objetivos planteados, se desarrollaron las siguientes actividades en el desarrollo del proyecto:

OE1: Identificar las principales variables y retos del uso del electrobisturí para reconocer sus impactos en la seguridad del paciente mediante una revisión de literatura.

- Se exploraron fuentes académicas confiables y especializadas en el área médica.
- Se seleccionaron y analizaron artículos relevantes que abordaban el uso del electrobisturí, sus variables clave (como potencia, técnica quirúrgica, tipo de tejido) y los retos asociados (como quemaduras, sangrado, interferencias).
- Se analizaron críticamente las relaciones entre dichas variables, los riesgos identificados y su impacto sobre la seguridad del paciente.
- Se elaboró el protocolo de investigación y toda la documentación requerida, la cual fue sometida y aprobada por el Comité de Ética de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali antes de la ejecución del estudio.

- Se realizaron entrevistas estructuradas a un grupo de profesionales de la salud con experiencia en el uso del electrobisturí, incluyendo cirujanos e instrumentadores quirúrgicos. Estas entrevistas fueron conducidas a través de la plataforma Microsoft Teams, contando con consentimiento informado y grabación autorizada.
- A partir del análisis de la información recopilada, se sintetizaron los principales hallazgos y recomendaciones obtenidas.

OE2: Diseñar e implementar una herramienta basada en gamificación para el entrenamiento del personal asistencial en el uso del electrobisturí.

- Se definieron los objetivos de aprendizaje y las competencias a desarrollar con la herramienta de gamificación.
- Se seleccionaron los elementos de gamificación más adecuados (como niveles, mecánicas, desafíos, etc.).
- Se diseñó e implementó el entorno interactivo en realidad virtual, empleando el motor Unity, con un enfoque en la simulación clínica del uso seguro del electrobisturí.
- La herramienta desarrollada fue puesta a prueba en un entorno controlado, evaluando su funcionamiento y usabilidad.

OE3: Verificar la funcionalidad de la herramienta con un modelo de evaluación de entrenamiento cuantitativo.

- Se seleccionaron estudiantes voluntarios de Ingeniería Biomédica, Medicina y Enfermería de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, asegurando el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión y garantizando la participación ética y voluntaria en el estudio.
- La herramienta fue probada por un grupo experimental de estudiantes voluntarios de Ingeniería Biomédica, Medicina y Enfermería de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali.
- Se aplicó el modelo de evaluación de Kirkpatrick, considerando los niveles de reacción, aprendizaje, comportamiento y resultados. La evaluación fue aplicada mediante un formulario institucional de Microsoft Forms.
- Se analizaron los resultados obtenidos para valorar la efectividad de la herramienta en el desarrollo de competencias técnicas sobre el uso del electrobisturí.
- Finalmente, se documentaron los hallazgos, se realizaron ajustes a la herramienta y se presentaron los resultados en el informe final del proyecto.

6.0.3. Materiales

Para el desarrollo de la herramienta de entrenamiento y evaluación del uso seguro del electrobisturí, se utilizaron los siguientes materiales, recursos tecnológicos y criterios de diseño:

- **Gafas de realidad virtual:** Se utilizaron gafas **Meta Quest 2**, facilitadas por el centro de simulación y videojuegos de la Universidad. Este dispositivo permitió crear una experiencia inmersiva de realidad virtual, en la que los usuarios pudieron interactuar con el electrobisturí dentro de un entorno médico simulado.
- **Equipo de Cómputo:** El desarrollo se realizó en un equipo de cómputo equipado con un procesador **AMD Ryzen 9** y una tarjeta gráfica **AMD Radeon**, lo que aseguró la capacidad de procesamiento gráfico requerida para ejecutar simulaciones en realidad virtual de manera fluida, sin comprometer la calidad visual ni la estabilidad del sistema.
- **Electrobisturí de Referencia:** Como modelo físico y funcional se utilizó el **WEM SS501-SX**, un electrobisturí clínico real empleado en procedimientos quirúrgicos. Este equipo fue tomado como referencia directa para el diseño y modelado virtual dentro del entorno simulado, permitiendo una representación fiel tanto en su aspecto visual como en sus funciones operativas.
- **Software de Desarrollo e Integración:** La simulación fue desarrollada utilizando el motor **Unity** (versión 2022.3.8f1 LTS)[45], con el lenguaje de programación **C#** para la implementación de la lógica de juego y las interacciones. Se emplearon los paquetes **XR Interaction Toolkit** y **OpenXR Plugin**, garantizando la compatibilidad e integración con el visor **Meta Quest 2**. Se integraron recursos gráficos y modelos 3D provenientes del proyecto *Surgery-Quest*[61], de la plataforma *Sketchfab* y de la *Unity Asset Store*, adecuadamente adaptados para el entorno de simulación.

El diseño de la herramienta se fundamentó en los estándares AST III, IV, V y VI de la *Association of Surgical Technologists* y en la normativa nacional vigente. A partir de estos lineamientos se definió el flujo de tareas e interacciones del entorno. El proceso de desarrollo se estructuró en fases iterativas: definición de flujo de tareas basada en la literatura y entrevistas, diseño y programación de módulos de interacción como el rasurado, aplicación de líquidos, colocación del electrodo de retorno, configuración del electrobisturí, funciones de corte y coagulación. Luego, la validación progresiva de cada módulo e integración en un entorno cohesivo para el entrenamiento y evaluación de los usuarios.

Resultados y Discusión

7.1. Identificación de principales variables y retos en el uso del electrobisturí mediante revisión de literatura

Se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda y selección de fuentes académicas relevantes en bases de datos científicas reconocidas y en literatura especializada sobre el uso del electrobisturí en cirugía. Se seleccionaron documentos de alto rigor científico, incluyendo artículos en revistas indexadas, libros especializados y guías clínicas elaboradas por sociedades científicas de referencia internacional como la Sociedad Europea de Endoscopia Gastrointestinal (ESGE) [62], así como capítulos en manuales de cirugía y monografías especializadas [63, 64]. Se priorizaron aquellas publicaciones que abordaran aspectos técnicos, principios físicos, seguridad en el uso, complicaciones y efectos tisulares del electrobisturí.

De la literatura revisada, se identificaron y seleccionaron artículos y documentos que abordan las variables clave involucradas en el uso del electrobisturí, así como los principales retos y riesgos asociados. Entre las variables clave destacan:

- **Potencia:** Es el parámetro que determina la cantidad de energía suministrada al tejido por unidad de tiempo, modulando los efectos térmicos deseados. En combinación con la forma de onda utilizada, una adecuada potencia permite obtener diferentes resultados: con una onda continua (modo corte), se produce una rápida vaporización celular y un corte limpio; con una onda pulsada (modo coagulación), se logra un calentamiento más controlado que favorece la desnaturalización proteica y la hemostasia. La potencia debe ajustarse en función del tipo de tejido, de la técnica quirúrgica y del efecto buscado [9, 63].
- **Frecuencia:** Las altas frecuencias (300 kHz - 5 MHz) utilizadas en electrocirugía evitan la estimulación neuromuscular y el riesgo de fibrilación ventricular, permitiendo que la energía suministrada se traduzca predominantemente en calor tisular [62, 64]. Además, estas frecuencias ayudan a minimizar las interferencias electromagnéticas con otros dispositivos médicos.
- **Tipo de onda:** Las unidades modernas permiten seleccionar entre diferentes formas de onda: onda continua o pura (para corte), onda blend (una onda modulada que combina efectos de corte y coagulación). Existen tres modos principales de tipo blend en un electrobisturí: Blend 1, Blend 2 y Blend 3, los cuales difieren en el efecto generado sobre el tejido. El modo Blend 1 está orientado a una mayor vaporización con menor capacidad de hemostasis, el Blend 2 brinda

un balance entre corte y coagulación, y el Blend 3 favorece la hemostasia, incrementando este efecto aunque con una menor eficiencia en el corte [65]. Finalmente, existe la onda pulsada o modulada, esta sirve para coagulación superficial o profunda. La elección adecuada de la forma de onda es clave para lograr el efecto tisular deseado y minimizar el daño térmico lateral [62].

- **Tipo de tejido:** Los tejidos altamente vascularizados, como el músculo, responden de manera más eficiente a la coagulación debido a su menor impedancia, mientras que tejidos con alta resistencia eléctrica, como el tejido adiposo o cicatricial, requieren una mayor entrega de energía para lograr el mismo efecto, lo que incrementa el riesgo potencial de daño térmico si no se ajustan correctamente los parámetros [63, 66]. La impedancia tisular varía dinámicamente durante la aplicación, por lo que es fundamental adaptar continuamente la energía suministrada [62].
- **Ubicación y colocación del electrodo de retorno:** Este es un factor crítico para la seguridad del paciente. El electrodo debe colocarse sobre una zona muscular bien perfundida, seca y libre de lesiones, asegurando un contacto uniforme y completo con la piel. Deben evitarse pliegues cutáneos, prominencias óseas, cicatrices, piel húmeda y zonas adiposas. Un contacto deficiente incrementa la densidad de corriente en áreas localizadas, lo que puede provocar sobrecalentamiento y quemaduras severas [62, 66, 67].

Los retos y riesgos identificados incluyen:

- **Quemaduras por electrodo de retorno:** Constituyen uno de los eventos adversos más reportados. Se producen cuando existe un contacto deficiente entre el electrodo y la piel, ya sea por mala colocación, elección inadecuada del sitio o presencia de pliegues, cicatrices o humedad. La combinación de mal contacto y tiempos prolongados de activación incrementa el riesgo de sobrecalentamiento localizado. Se han documentado casos de quemaduras de tercer grado, especialmente en procedimientos prolongados. Algunos factores que dificultan la correcta colocación del electrodo de retorno son: Pacientes con obesidad, cicatrices quirúrgicas previas, prominencias óseas, tejido adiposo abundante o piel húmeda presentan mayor riesgo de mal contacto, lo cual favorece la formación de puntos calientes y aumenta el riesgo de quemaduras profundas [66, 67].
- **Fuegos quirúrgicos:** El uso del electrobisturí en presencia de líquidos inflamables, como soluciones antisépticas alcohólicas no evaporadas, puede provocar incendios en el campo quirúrgico. Además, concentraciones elevadas de oxígeno suplementario aumentan el riesgo. La ESGE recomienda evitar la activación del dispositivo en presencia de vapores inflamables y permitir tiempos adecuados de evaporación [62].
- **Interferencia con dispositivos implantables:** La corriente eléctrica puede interferir con el funcionamiento de marcapasos, desfibriladores automáticos implantables (DAI) o neuroestimuladores, ocasionando arritmias, inhibición o malfunción de los dispositivos. En estos

casos se recomienda utilizar preferentemente modos bipolares, y monitorizar estrechamente al paciente durante el procedimiento [62].

- **Lesión térmica no intencionada en tejidos adyacentes:** Puede ocurrir por conducción lateral de calor o contacto inadvertido con estructuras vecinas. Una elección inadecuada de parámetros, tiempos de activación excesivos o una técnica imprecisa incrementan el riesgo de daño en órganos, vasos sanguíneos o nervios cercanos [2, 62].

7.1.1. Análisis crítico de variables y retos del electrobisturí en relación con la seguridad del paciente

El electrobisturí se ha consolidado como una herramienta fundamental en la cirugía moderna, permitiendo realizar cortes precisos y controlar el sangrado de forma eficiente [9, 63]. Su funcionamiento se basa en la aplicación de corriente alterna de alta frecuencia. Esta corriente fluye desde el electrodo activo hacia el tejido, y su paso a través de la impedancia tisular provoca la conversión de energía eléctrica en energía térmica. Dependiendo de la densidad de corriente, de la forma de onda y de los parámetros de potencia seleccionados, este calentamiento localizado permite obtener efectos quirúrgicos como el corte, la coagulación o la fulguración tisular. Esto se logra a partir de un generador de alta potencia que produce una chispa de radiofrecuencia entre el electrodo activo y el sitio quirúrgico lo cual ocasiona calor localizado a un nivel celular y daño al tejido[64, 2].

En modo monopolar, el sistema consta de un electrodo activo, que concentra la corriente en el sitio quirúrgico, y un electrodo de retorno, encargado de devolver la corriente de manera segura. Este equipo biomédico integra múltiples variables clave, cuya comprensión es fundamental para un manejo óptimo del electrobisturí, ya que influyen directamente en el efecto quirúrgico deseado en cada procedimiento.

El análisis de la literatura evidencia múltiples riesgos asociados al uso del electrobisturí, incluyendo quemaduras por electrodo de retorno, lesiones térmicas no intencionadas en tejidos adyacentes, incendios quirúrgicos, especialmente en presencia de vapores inflamables o concentraciones elevadas de oxígeno, e interferencias con dispositivos médicos implantables como marcapasos o neuroestimuladores [62, 2].

En el caso del tejido adiposo, su baja conductividad eléctrica dificulta la transmisión de la corriente, aumentando el riesgo de quemaduras. Además, la frecuencia y el voltaje son factores clave en el efecto quirúrgico del electrobisturí. Una frecuencia más alta, asociada con un corte preciso, requiere un voltaje bajo, mientras que una frecuencia baja, utilizada para la coagulación, demanda un voltaje alto. Cuando se busca combinar los efectos de corte y coagulación, conocido como "blend", se utilizan valores intermedios tanto de frecuencia como de voltaje, lo que permite obtener un equilibrio entre ambos procedimientos [63].

El posicionamiento del electrodo de retorno es crucial para retornar de manera segura la corriente, este debe ser una superficie seca y bien vascularizada de esa manera se maximiza el contacto con el área del electrodo de retorno y se reduce la temperatura del tejido. Si el electrodo se posiciona en una zona de alto tejido adiposo existe mayor riesgo de quemadura debido a que la grasa tiene menor efectividad en reducción de calor por su baja capacidad conductiva y baja vascularización

en comparación con los músculos [66]. El tiempo de contacto también juega un papel fundamental. Aunque la corriente se dispersa sobre un área amplia, un tiempo de activación prolongado puede provocar un aumento de la temperatura en el electrodo de retorno, lo cual incrementa el riesgo de una quemadura [67].

Es posible identificar muchos riesgos asociados a este equipo, como lo son quemaduras, daño al tejido no intencional, fuegos quirúrgicos, interferencias eléctricas con dispositivos médicos, entre otras [62]. Con frecuencia se evidencian las quemaduras, las cuales se pueden dar por varios factores, entre ellas están quemaduras directas por uso inapropiado del electrodo activo, quemaduras por el electrodo de retorno, quemaduras resultantes del calentamiento de soluciones acumuladas por el electrodo y quemaduras fuera del campo operativo como resultado de circuitos generados entre el electrodo activo y una fuente de tierra alternativa [67].

Si bien los equipos modernos incorporan sistemas avanzados de monitoreo y seguridad, las complicaciones persisten, frecuentemente relacionadas con fallos en la formación del personal o con la falta de adherencia a protocolos establecidos [62]. Esto subraya la necesidad de una cultura de seguridad quirúrgica sólida, basada en el conocimiento profundo de las variables operativas del electrobisturí, en protocolos claros y en la formación continua de los equipos quirúrgicos.

La integración de estas medidas es esencial para minimizar los riesgos asociados y optimizar los resultados clínicos, consolidando así el uso seguro y eficaz del electrobisturí en la práctica quirúrgica moderna.

El electrobisturí es una herramienta invaluable en cirugía moderna, ya que facilita la realización de procedimientos con mayor precisión y eficacia. No obstante, su manejo adecuado requiere una comprensión profunda de los factores que influyen en su funcionamiento, tales como la potencia, la frecuencia, y el posicionamiento del electrodo. Al entender y controlar estos aspectos, se pueden minimizar los riesgos asociados, asegurando así la seguridad del paciente durante la intervención quirúrgica.

7.1.2. Realización de entrevistas estructuradas a profesionales de la salud

Se elaboró una entrevista estructurada con el propósito de explorar las experiencias, percepciones y nivel de familiaridad de los profesionales de la salud respecto al uso del electrobisturí.

El instrumento utilizado para recoger esta información es el siguiente:

Entrevista estructurada a profesionales de salud

1. ¿Cuánto tiempo lleva trabajando con el electrobisturí?
2. ¿Con qué frecuencia utiliza el electrobisturí en los procedimientos médicos que usted realiza?
3. ¿Ha experimentado o tiene conocimiento de algún incidente o complicación durante el uso del electrobisturí?
4. En su experiencia, ¿cuáles son los incidentes más frecuentes relacionados con el uso del electrobisturí?
5. ¿Qué aspectos del uso del electrobisturí considera más desafiantes?
6. ¿Recibió un entrenamiento inicial con respecto al uso del electrobisturí?
 - ¿Cómo fue su entrenamiento inicial?
 - ¿Ha recibido entrenamiento adicional después de su capacitación inicial?
7. ¿Qué características o enfoque considera que debería tener una herramienta de entrenamiento para el uso del electrobisturí?
8. ¿Cuáles son los principales desafíos que considera se podrían presentar para tomar una capacitación en el uso del electrobisturí?
9. En su opinión, ¿sería útil una herramienta de entrenamiento en realidad virtual para mejorar el manejo del electrobisturí?
10. ¿Hay algún comentario adicional que le gustaría hacer respecto a la capacitación o el uso del electrobisturí?

La entrevista fue aplicada con la finalidad de comprender las experiencias, percepciones y desafíos que enfrentan los profesionales de la salud en el uso del electrobisturí. Las entrevistas estructuradas fueron aplicadas a un grupo de profesionales de la salud de diversas especialidades quirúrgicas con amplia experiencia en el uso del electrobisturí. El propósito fue explorar sus percepciones, experiencias previas, incidentes conocidos, necesidades de formación y su opinión respecto a la implementación de herramientas de entrenamiento, como la realidad virtual, en este campo.

Las entrevistas fueron conducidas de forma individual a través de la plataforma Microsoft Teams, previa autorización de los participantes. La participación fue voluntaria, confidencial y anónima. Se entrevistaron en total a seis profesionales que cumplieron los criterios establecidos: médicos especialistas en neurocirugía, ginecología y obstetricia, ortopedia y traumatología, cirugía general, así como instrumentadores quirúrgicos, con una experiencia acumulada que varía entre 7 y 34 años en el uso del electrobisturí.

Todos los participantes reportaron el uso frecuente del electrobisturí en su práctica clínica. En especialidades como cirugía de columna, ginecología y cirugía general su uso es prácticamente diario, siendo un instrumento considerado indispensable en procedimientos como cesáreas, abordajes de columna vertebral, laparoscopias, cirugías de pared abdominal y otros procedimientos de tejidos blandos.

Uno de los aspectos más relevantes emergidos en las entrevistas corresponde a los incidentes y complicaciones asociados al uso del electrobisturí. Los profesionales compartieron tanto experiencias personales como casos observados en su práctica:

■ **Quemaduras a pacientes:**

- Quemaduras en la piel por contacto accidental del dispositivo con bordes de la herida o con superficies metálicas.
- Quemaduras por mal posicionamiento o fallas en el electrodo de retorno como por ejemplo, placa dañada o mal adherida.
- Quemaduras por interacción con agentes inflamables. En un caso se reportó la quemadura facial de un paciente por presencia de clorhexidina concentrada en el campo operatorio al activar el electrobisturí, generándose un arco eléctrico y una pequeña explosión.
- En cirugía laparoscópica, se reportaron quemaduras accidentales a vísceras huecas, observadas en la práctica.

■ **Quemaduras al personal de salud:**

- Varias experiencias de quemaduras en los dedos de los cirujanos, producidas por microperforaciones en los guantes que disminuyeron el aislamiento durante el uso del dispositivo.
- Un caso reportó haber sufrido quemaduras en las manos en más de tres ocasiones.

■ **Complicaciones musculares:**

- En abordajes craneales, el uso del electrobisturí provocaba, en algunos casos, alteraciones de la circulación muscular y posterior hipotrofia muscular, motivo por el cual esta técnica fue modificada.

■ **Dificultades en el control de la zona de acción:**

- En procedimientos complejos como cirugía cervical, se mencionó el riesgo de afectar vasos no deseados debido a la dificultad en controlar la extensión de la zona de quemado.

En conjunto, los profesionales enfatizan que las quemaduras accidentales son el incidente más frecuente asociado al uso del electrobisturí, tanto en pacientes como en el personal, subrayando la necesidad de fortalecer la cultura de seguridad en su manejo.

Los principales desafíos identificados fueron:

- Determinar adecuadamente los niveles de potencia según el tipo de tejido, debido a la falta de estandarización y a la enseñanza empírica.
- El manejo preciso del modo de corte, que requiere destrezas finas y sensibilidad manual.
- Control adecuado en zonas anatómicas de riesgo, por ejemplo, cercanía de vasos sanguíneos en la columna cervical.
- Comprender y aplicar correctamente las normas de seguridad eléctrica y de prevención de incendios en el quirófano.
- Falta de entrenamiento práctico previo que permita desarrollar la sensibilidad táctil y el control psicomotor requerido.

Se identificó un patrón consistente: la mayoría de los profesionales no recibieron un entrenamiento formal, estandarizado ni estructurado sobre el uso del electrobisturí. La formación fue principalmente empírica, adquirida en la práctica clínica, durante la residencia médica o por observación de colegas e instrumentadores quirúrgicos.

Algunos profesionales refirieron haber recibido capacitaciones básicas iniciales por parte de instrumentadores quirúrgicos, enfocadas en el funcionamiento técnico del equipo. Sin embargo, el consenso general es que no existe una capacitación sistemática que aborde todos los aspectos críticos del uso seguro del dispositivo. Además, son escasos los reentrenamientos periódicos, a pesar de los avances tecnológicos en los nuevos equipos y configuraciones disponibles.

Los entrevistados coincidieron en que una herramienta de entrenamiento ideal debería incluir:

■ **Fundamentación teórica sólida:**

- Principios de funcionamiento del electrobisturí.
- Modos de operación: corte puro, blend, fulguración, coagulación.
- Selección adecuada de parámetros de energía según el tejido.
- Identificación y prevención de incidentes.
- Protocolos de seguridad (uso correcto del electrodo de retorno, manejo de líquidos inflamables, control del entorno).

■ **Simulación práctica:**

- Modelos que reproduzcan fielmente la respuesta de los tejidos humanos.
- Simulación de escenarios de riesgo.
- Retroalimentación sobre errores y consecuencias.

■ **Modalidades complementarias:**

- Material audiovisual e interactivo.
- Listas de chequeo.
- Evaluaciones tipo pre-test / post-test.
- Implementación de recursos asincrónicos para mejorar la accesibilidad al proceso de entrenamiento.

De manera general, los entrevistados valoraron de forma muy positiva la implementación de herramientas de entrenamiento en VR como un complemento innovador y accesible. Se destacó su potencial para:

- Facilitar la comprensión de los principios de funcionamiento.
- Estandarizar el entrenamiento inicial.
- Promover la cultura de seguridad en el uso del dispositivo.

Algunos profesionales señalaron que si bien la VR es muy adecuada para el aprendizaje conceptual y procedimental, para el desarrollo de la sensibilidad táctil y habilidades psicomotoras finas es recomendable complementarla con modelos físicos de alta fidelidad o prácticas sobre tejido simulado.

Las entrevistas evidencian que el electrobisturí es un dispositivo de uso cotidiano y esencial en la práctica quirúrgica actual, pero su uso conlleva riesgos importantes cuando no se aplica con criterios de seguridad adecuados. Las quemaduras accidentales en pacientes y personal constituyen el incidente más frecuente, y la falta de formación formal aumenta la posibilidad de estos eventos.

Existe una necesidad claramente identificada por parte de los profesionales de contar con programas de capacitación estructurados, actualizados y accesibles, en los cuales el uso de tecnologías como la realidad virtual puede jugar un papel clave. El desarrollo de herramientas de entrenamiento basadas en VR y modelos de simulación representa una oportunidad significativa para mejorar la seguridad del paciente y la competencia técnica del personal de salud.

7.1.3. Síntesis de conclusiones y recomendaciones a partir de los datos obtenidos

La revisión de literatura realizada y el análisis de las entrevistas permitieron obtener una visión integral sobre las variables clave y los principales retos asociados al uso del electrobisturí, así como su impacto en la seguridad del paciente.

En primer lugar, se confirma que el electrobisturí es un instrumento indispensable en la cirugía moderna, cuyo uso adecuado permite mejorar la precisión quirúrgica y optimizar el control hemostático. Sin embargo, también se evidenció que su manejo implica riesgos significativos cuando no se dominan completamente sus variables técnicas ni se aplican de forma rigurosa los protocolos de seguridad.

Entre las variables más relevantes se destacan la potencia, la frecuencia, el tipo de onda, las características del tejido y el posicionamiento del electrodo de retorno. La interacción dinámica entre estas variables condiciona directamente los efectos tisulares y el riesgo de complicaciones. Por ejemplo, en tejidos de alta resistencia, como el tejido adiposo, la selección inadecuada de parámetros puede incrementar significativamente el riesgo de quemaduras. Asimismo, la colocación incorrecta del electrodo de retorno, especialmente en pacientes con factores predisponentes como obesidad o cicatrices, constituye una causa frecuente de lesiones térmicas graves, tal como lo demuestran los casos clínicos documentados y los testimonios recogidos en las entrevistas.

Por otra parte, se identificaron riesgos adicionales, como la posibilidad de fuegos quirúrgicos por la presencia de agentes inflamables en el campo operatorio, la interferencia con dispositivos médicos implantables, y las lesiones térmicas no intencionadas en tejidos adyacentes, todas ellas asociadas a fallos en la técnica quirúrgica, en la configuración del equipo o en la vigilancia intraoperatoria.

El análisis de las entrevistas puso en evidencia que las quemaduras accidentales, tanto en pacientes como en el personal, siguen siendo los incidentes más reportados. Además, existe una clara carencia de programas formales y estandarizados de capacitación sobre el uso seguro del electrobisturí. La mayoría de los profesionales adquieren su experiencia de manera empírica, a través de la práctica clínica cotidiana, sin contar con entrenamiento específico ni con actualizaciones periódicas.

En este contexto, los profesionales entrevistados valoraron de manera muy positiva el potencial de las herramientas de realidad virtual como complemento en la formación. Estas tecnologías ofrecen la posibilidad de estandarizar el aprendizaje, simular escenarios de riesgo y reforzar la cultura de seguridad quirúrgica de manera accesible e innovadora.

A partir de estos hallazgos, se recomienda el desarrollo de programas de entrenamiento estructurados que integren contenidos teóricos y simulación práctica. Además, se subraya la necesidad de fomentar la actualización continua del personal quirúrgico, promover la adherencia a los protocolos de seguridad y fortalecer la conciencia colectiva sobre los riesgos inherentes al uso del electrobisturí.

En definitiva, la integración de estas estrategias resulta esencial para minimizar los riesgos asociados, mejorar la competencia técnica del equipo quirúrgico y, en última instancia, garantizar la seguridad del paciente en el contexto de la cirugía moderna.

7.2. Diseño e implementación de una herramienta de gamificación para el entrenamiento en el uso del electrobisturí

7.2.1. Definición de objetivos de aprendizaje y competencias para la herramienta gamificada

Objetivos de aprendizaje:

Al llevar a cabo el entrenamiento gamificado, se espera que los participantes adquieran una comprensión profunda del principio operativo del electrobisturí en su modalidad monopolar. Entender claramente este principio de funcionamiento permite a los usuarios reconocer cómo y por qué determinadas prácticas inadecuadas o errores operativos pueden resultar en lesiones graves en los pacientes. Un ejemplo significativo de estas consecuencias es la aparición de quemaduras debido a una colocación incorrecta o un mal uso del electrodo de retorno. Por lo tanto, este entrenamiento busca generar una conciencia sólida sobre la importancia del manejo correcto y seguro del electrobisturí para evitar incidentes adversos y proteger la integridad tanto del paciente como del personal asistencial.

Se espera identificar claramente los riesgos inherentes al uso del electrobisturí, reconociendo diversas situaciones que potencialmente pueden generar quemaduras u otros eventos adversos durante su operación. Además, se busca detectar fallos frecuentes en su manejo que comúnmente conducen a lesiones en los pacientes o en el personal asistencial. Para abordar efectivamente esta problemática, se tendrán en cuenta las normativas vigentes sobre el uso seguro y adecuado del electrobisturí, las cuales detallan específicamente cómo debe emplearse este dispositivo médico. Estas normativas proporcionan indicaciones claras sobre procedimientos correctos, configuraciones de seguridad, ubicación precisa de electrodos, selección adecuada de potencia y acciones preventivas concretas, cuyo incumplimiento podría derivar en incidentes graves o lesiones significativas.

Finalmente, se espera que los participantes apliquen correctamente las buenas prácticas operativas relacionadas con el uso del electrobisturí. Tras completar el entrenamiento, el participante será capaz de realizar adecuadamente la preparación del paciente antes del procedimiento, incluyendo acciones esenciales como el posicionamiento correcto del electrodo de retorno, acorde con los criterios y estándares de seguridad establecidos. Además, los participantes deberán desarrollar la capacidad de realizar chequeos preventivos y verificaciones de seguridad al equipo, asegurando así su correcto funcionamiento antes de iniciar cualquier procedimiento quirúrgico. Gracias a estos conocimientos y destrezas, en el futuro los participantes estarán mejor preparados para afrontar y resolver situaciones críticas específicas que puedan surgir durante el uso del electrobisturí, garantizando de esta forma la seguridad del paciente y la eficacia del procedimiento.

Competencias a desarrollar:

Estas competencias representan las capacidades específicas que se busca fortalecer a través de la herramienta gamificada. En primer lugar, se busca desarrollar una competencia técnica operativa, la cual implica, por ejemplo, que los participantes adquieran habilidades relacionadas con la elección y configuración precisa del equipo (potencia, electrodos y ubicación), además de prácticas en escenarios quirúrgicos virtuales específicos al modo monopolar. En segundo lugar, se espera fomentar una competencia analítica preventiva, que permitirá a los usuarios evaluar, identificar y anticiparse a situaciones de riesgo potencial durante el uso del equipo. Esta competencia incluye aplicar medidas correctivas oportunas con el objetivo de prevenir incidentes y eventos adversos antes de que ocurran. Finalmente, se busca consolidar la competencia en seguridad del paciente, promoviendo

que los participantes actúen consistentemente con una visión clara y constante de protección hacia el paciente, priorizando siempre su seguridad y bienestar en cualquier procedimiento que involucre el manejo del electrobisturí.

7.2.2. Identificación de elementos de gamificación apropiados para el diseño del entrenamiento

Los elementos adecuados de gamificación identificados para el entrenamiento del uso seguro del electrobisturí son los siguientes:

- **Niveles progresivos**

El juego se estructura en niveles con complejidad incremental, comenzando por actividades básicas y avanzando hacia procedimientos más complejos. Esto permite al jugador desarrollar de manera gradual sus habilidades y conocimientos.

- **Desafíos prácticos**

Cada nivel incluye tareas prácticas concretas, como el rasurado de la zona de aplicación, la colocación adecuada del pad de retorno, la correcta selección de modos y potencias en el electrobisturí, y la ejecución de corte o coagulación en condiciones seguras. Estas tareas reflejan situaciones reales que el personal clínico debe dominar.

- **Sistema de vidas**

Se ha implementado un sistema de vidas, representado mediante corazones visibles en los niveles 2 y 3. La pérdida de vidas está asociada a errores en la ejecución de las tareas, tales como el uso del bisturí en presencia de líquidos inflamables o la colocación incorrecta del pad. Si el jugador pierde todas las vidas, debe reiniciar el nivel.

- **Secuencia guiada de tareas**

El juego establece una secuencia de tareas obligatoria dentro de cada nivel. El jugador no puede avanzar a la siguiente etapa o nivel sin haber completado correctamente los requisitos previos. Esto asegura el cumplimiento de prácticas seguras en el uso del equipo.

- **Condiciones de fallo**

Se han definido condiciones de fallo que terminan prematuramente el nivel o penalizan al jugador. Entre ellas se encuentran el encendido del bisturí antes del secado del agente de limpieza (provocando un incendio simulado) o la realización de procedimientos sin los elementos de seguridad requeridos.

Para diseñar una experiencia efectiva de entrenamiento en realidad virtual, se emplean mecánicas y dinámicas, que constituyen elementos fundamentales para captar el interés del participante y asegurar la calidad del aprendizaje. Las mecánicas se refieren específicamente a las reglas o acciones

que el jugador puede realizar dentro del juego, mientras que las dinámicas son las respuestas o comportamientos que estas reglas generan en el participante, creando así una experiencia interactiva y significativa.

En el diseño de experiencias gamificadas, es fundamental distinguir entre las mecánicas y las dinámicas de juego, ya que estas configuran la base estructural y emocional del sistema de gamificación. Las **mecánicas** son las acciones, comportamientos y controles que el jugador puede realizar dentro del juego. Incluyen elementos como puntos, niveles, insignias, reglas, desafíos o recompensas. Se entienden como los componentes concretos con los que el jugador interactúa directamente. Por su parte, las **dinámicas** son los principios de diseño que emergen de la interacción de las mecánicas con los jugadores y que dan lugar a experiencias significativas. Ejemplos son la presión del tiempo, el comportamiento del oponente o la colaboración entre jugadores [68]. Estas fueron implementadas dentro de un entorno simulado en realidad virtual desarrollado en Unity, el cual funcionó como testbed para la evaluación del desempeño de los estudiantes voluntarios. Este entorno permitió observar de forma controlada la interacción de los participantes con la herramienta, así como recoger datos para evaluar su efectividad en el desarrollo de competencias relacionadas con el uso seguro del electrobisturí.

Mecánicas:

- Agarrar la rasuradora.
- Soltar la rasuradora.
- Encender la rasuradora.
- Apagar la rasuradora.
- Aproximar la rasuradora a la piel (colisión).
- Rasurar un vello individual (HairStrand).
- Reportar vello cortado al sistema.
- Calcular porcentaje de vello cortado.
- Mostrar panel de progreso de rasurado.
- Validar si la piel está suficientemente rasurada (90 %).
- Penalizar si el rasurado es insuficiente.
- Instanciar agente líquido tras rasurado.
- Mostrar efecto visual de agente líquido.
- Iniciar cuenta regresiva para evaporación del líquido.

- Detectar si el agente líquido sigue presente.
- Detectar si el usuario intenta cortar con líquido presente.
- Generar incendio visual si se corta prematuramente.
- Penalizar por incendio.
- Agarrar el pad de retorno.
- Soltar el pad.
- Colocar el pad sobre la piel.
- Detectar colisión de los huesos del pad con la piel.
- Calcular porcentaje de contacto del pad.
- Mostrar panel de porcentaje de contacto en tiempo real.
- Validar zona anatómica del pad (muslo, abdomen, cuerpo).
- Penalizar por pad mal colocado.
- Generar efecto de quemadura bajo el pad si está mal colocado.
- Validar si el pad está $\geq 90\%$ en contacto y en zona válida.
- Validar si el pad ha permanecido suficiente tiempo.
- Reportar pad correctamente colocado al sistema.
- Agarrar el panel del electrobisturí WEM (interfaz).
- Encender el WEM.
- Apagar el WEM.
- Mostrar el estado encendido/apagado del WEM (LED, pantalla).
- Seleccionar modo de corte (Pure Cut, Blended Cut).
- Seleccionar modo de coagulación (Fulgurate, Spray, Soft, Forced).
- Cambiar de modo de corte con botones.
- Cambiar de modo de coagulación con botones.
- Subir potencia de corte.
- Bajar potencia de corte.

- Subir potencia de coagulación.
- Bajar potencia de coagulación.
- Establecer potencia automática según zona (ModeManager).
- Mostrar la potencia actual en pantalla (WEM).
- Mostrar el modo seleccionado (WEM).
- Configurar modo/potencia automáticamente según zona tocada.
- Validar que la potencia esté dentro de los valores permitidos.
- Penalizar si la potencia es incorrecta.
- Agarrar el bisturí eléctrico.
- Soltar el bisturí eléctrico.
- Detectar si el bisturí está sobre la piel del paciente.
- Detectar si el bisturí está encendido (WEM).
- Presionar botón primario para activar modo corte.
- Presionar botón secundario para activar modo coagulación.
- Cambiar de modo usando el bisturí (input mapping).
- Detectar la zona anatómica actual (muslo, abdomen, cuerpo).
- Validar si el pad está bien colocado antes de permitir corte/coagulación.
- Validar si la piel está preparada antes de permitir corte/coagulación.
- Validar que el líquido esté evaporado antes de permitir corte/coagulación.
- Validar que la potencia y el modo sean los correctos antes de permitir acción.
- Realizar corte sólo si todas las condiciones son seguras.
- Realizar coagulación sólo si todas las condiciones son seguras.
- Generar efecto visual de corte (partículas, decal, sonido).
- Generar efecto visual de coagulación (partículas, decal, sonido).
- Penalizar y mostrar feedback si se intenta cortar/coagular de forma insegura.
- Penalizar y mostrar feedback si el pad es insuficiente.

- Penalizar y mostrar feedback si la potencia es excesiva.
- Penalizar y mostrar feedback si hay contacto peligroso.
- Marcar acción de corte realizada.
- Marcar acción de coagulación realizada.
- Reportar ambas acciones realizadas al sistema.
- Quitar vida por error leve.
- Quitar vida por error grave.
- Mostrar corazones de vidas actuales (LifeManager).
- Mostrar feedback visual y auditivo de penalización.
- Reiniciar nivel si las vidas llegan a cero.
- Reposicionar jugador al inicio tras reinicio.
- Mostrar mensaje de error al reiniciar.
- Mostrar canvas informativos.
- Avanzar canvas informativo con flecha.
- Mostrar canvas de tarea (sin flecha, avance automático).
- Avanzar canvas de tarea sólo al completar la acción validada.
- Registrar el tiempo de avance de nivel.
- Guardar log de desempeño y tiempo.
- Leer log de desempeño al final.
- Mostrar pantalla de felicitación al completar nivel.
- Avanzar automáticamente al siguiente nivel.
- Mostrar todos los paneles informativos.
- Mostrar advertencias de riesgo en tiempo real.
- Generar sonido/vibración ante éxito o fallo.
- Mostrar cronómetro de espera (evaporación).
- Mostrar instrucciones de cada paso.

- Restringir acción hasta cumplir validaciones de seguridad.
- Habilitar repetición de nivel tras fallo.
- Reportar cada acción relevante para análisis posterior.

Dinámicas:

- **Preparar el campo quirúrgico:** Surge de la combinación de agarrar la rasuradora, encenderla, rasurar la zona, aplicar agente líquido, esperar su evaporación y colocar correctamente el pad de retorno. La experiencia completa de preparación es una dinámica que integra todas estas acciones y validaciones.
- **Configurar y validar el equipo:** Consiste en encender el WEM, seleccionar el modo adecuado de corte o coagulación, ajustar la potencia de acuerdo a la zona anatómica y asegurarse que la configuración sea segura antes de avanzar.
- **Ejecutar procedimientos seguros:** Se logra al combinar tomar el bisturí eléctrico, presionar el botón correcto para cortar o coagular, validar que todas las condiciones sean seguras (pad, piel, potencia, ausencia de líquido), y realizar la acción sólo cuando se cumplen todos los requisitos.
- **Gestión de errores y recuperación:** Dinámica donde el usuario experimenta penalizaciones ante fallos (pérdida de vidas, feedback negativo), aprende de sus errores y debe repetir la tarea hasta completarla correctamente, integrando la retroalimentación inmediata y la restricción de progreso.
- **Avance y logro clínico:** Producto de completar exitosamente todas las fases (preparar campo, configurar, ejecutar procedimientos), lo que permite el avance automático de canvas, la superación de nivel, y el registro del desempeño, culminando en la satisfacción de lograr el objetivo clínico bajo estándares de seguridad.
- **Ciclo de mejora y autoevaluación:** Dinámica que resulta de repetir el nivel tras errores, analizar logs de desempeño y buscar optimizar el procedimiento y el tiempo en futuras repeticiones.

7.2.3. Diseño de la interfaz gráfica y componentes gamificados de la herramienta de entrenamiento

El desarrollo de la herramienta de entrenamiento en realidad virtual para el uso seguro del electrobisturí se abordó de manera sistemática y multidisciplinar, siguiendo una metodología iterativa que abarca desde el modelado 3D, la integración de recursos y el diseño de la escena, hasta la programación detallada de la lógica de juego, la interfaz y la evaluación del desempeño. A continuación, se describe en detalle cada una de las fases y decisiones del proceso.

1. Modelado 3D y selección de recursos open source

La primera etapa consistió en la creación y recopilación de todos los elementos 3D necesarios para la simulación. El modelo de la unidad de electrobisturí (WEM) y del bisturí eléctrico (*Electric Scalpel*) fueron diseñados desde cero en Blender, siguiendo dimensiones reales y buscando fidelidad visual y funcional para la simulación. Simultáneamente, se procedió a buscar y adaptar recursos open source para otros elementos críticos de la escena. Entre los recursos empleados, se destacan: la mesa de cirugía y mesa de instrumentos [61], el modelo 3D de rasuradora [69], la sala de cirugía [70], el modelo de paciente [71], el HUD de vidas [72] y el sonido de la rasuradora [73].

2. Integración y montaje de la escena en Unity

Con los modelos listos, se procedió a montar la escena principal en Unity. Se configuraron el sistema de locomoción VR, el entorno quirúrgico, la iluminación y los prefabs interactivos. Se posicionaron cuidadosamente el paciente, la mesa de cirugía, la mesa de instrumentos, el WEM, el bisturí eléctrico, la rasuradora, los corazones (para el sistema de vidas), y los elementos visuales y funcionales de la interfaz gráfica.

Previo a la programación de la lógica, se crearon los *prefabs* para las partículas (evaporación del agente líquido), los vellos del área quirúrgica y se organizaron los distintos canvas para la secuencia de pantallas, asegurando que la interacción VR fuera natural y que los botones, sliders y demás elementos fueran accesibles y cómodos de usar en la experiencia inmersiva.

3. Programación y desarrollo de scripts funcionales

El desarrollo de la lógica funcional se realizó mediante scripts en C#, aplicando una estructura modular y orientada a objetos. El proceso se llevó a cabo en el siguiente orden, optimizando el flujo de trabajo y facilitando la depuración:

- **ElectricScalpel:** El primer script implementado fue el del bisturí eléctrico. Se programó la lógica de interacción para VR, mapeando los botones de las Meta Quest 2 y validando condiciones de corte y coagulación seguras. Esto requirió configurar los *Input Actions*, asignando botones primarios y secundarios a las funciones de corte y coagulación. Además, se codificó la validación para evitar cortes si no se cumplen las condiciones de seguridad del paciente (por ejemplo, si el pad no está bien colocado o si hay presencia de líquido inflamable).
- **PadAutoAdhesion y PadContactManager:** Posteriormente, se desarrolló la lógica del pad de retorno. Se implementó el cálculo del porcentaje de contacto real mediante colisionadores personalizados y un sistema de temporización para validar la adhesión sostenida. Se programó la detección de zonas válidas e inválidas (por ejemplo, diferenciando entre muslo y abdomen), así como la notificación de errores y penalizaciones en caso de una colocación incorrecta o insuficiente.

- **RazorClipper, HairManager y HairStrand:** Para el sistema de rasurado, se programó la interacción de la rasuradora virtual (incluyendo el uso de sonido realista), la generación y distribución de vellos individuales (**HairStrand**) sobre la malla del paciente, y la lógica de corte al detectar colisión. El **HairManager** controla el avance, visualiza el porcentaje de rasurado y reporta el progreso al **LevelManager**. Los scripts permiten que solo tras alcanzar el umbral adecuado ($\geq 90\%$) se avance a la siguiente fase.
- **WEMController y ModeManager:** Estos scripts implementan el control total del electrobisturí, permitiendo la selección del modo de corte o coagulación (pure, blend, fulgurate), el ajuste de potencia, la validación de parámetros y el encendido seguro del WEM. El sistema verifica que el usuario haya realizado todas las configuraciones necesarias antes de permitir la ejecución de procedimientos activos.
- **LifeManager:** Se creó el sistema visual y funcional de vidas, usando los corazones obtenidos del asset store. El script permite mostrar el número de vidas restantes en cada nivel, actualizarlas dinámicamente y notificar al usuario cuando está en riesgo de perder la partida por errores reiterados.
- **LevelManager y agente de limpieza:** Finalmente, se consolidó toda la lógica de progresión en el **LevelManager**, incluyendo la gestión de pantallas/canvas, el avance automático al cumplir tareas, la penalización por errores leves o graves, y la integración de los eventos de cada script auxiliar. La aparición y evaporación del agente líquido se implementó de manera automática al ingresar a la pantalla correspondiente, utilizando un sistema de partículas (**LiquidManager**) controlado por el **LevelManager** y vinculado a la variable `liquidosPresentes`.

4. Integración de la lógica de juego y validación de actividades

Antes de la implementación definitiva de la lógica de juego, se desarrollaron todos los *prefabs* requeridos, incluyendo partículas de líquido y cada vello individual. Se configuró la posición de los canvas interactivos en la escena, permitiendo una experiencia fluida y contextualizada para el usuario.

El **LevelManager** actúa como núcleo del sistema, recibiendo los eventos y validaciones de todos los scripts anteriores, gestionando el avance automático, la penalización y el registro de desempeño. Cada evento relevante (por ejemplo, rasurado suficiente, pad bien colocado, agente seco, corte/coagulación realizados) activa los métodos públicos de avance, que actualizan el estado global del juego.

La interacción entre scripts se validó mediante pruebas iterativas, ajustando condiciones, mensajes de error y visualización para asegurar la robustez y la calidad de la experiencia.

5. Diagramas de flujo y validación del flujo lógico

Para garantizar la trazabilidad y el rigor lógico del desarrollo, se elaboraron diagramas de flujo para cada script principal, documentando cada variable, método, evento y transición relevante. A

continuación se detalla cada diagrama paso a paso, explicitando los procesos exactos que ocurren en la simulación.

ElectricScalpel.cs (Figura 7.1) desarrolla toda la lógica del bisturí eléctrico. El proceso inicia con el método `Start()`, que registra los eventos de interacción del bisturí y desactiva el rayo para evitar acciones no intencionadas al principio. El ciclo principal ocurre en `Update()`, donde el script verifica si el generador WEM está encendido y si el bisturí está siendo sujetado por el usuario (`WEM.isOn && isGrabbed`). Si esto se cumple, el sistema monitoriza la pulsación de los botones físicos: al presionar el botón de corte se activa el modo `CUT`, mientras que al presionar el botón de coagulación se activa el modo `COAG`. Si no hay interacción, se llama a `StopAction()` para apagar la función activa del bisturí. Cuando ocurre un evento de `onTriggerStay` sobre el paciente, el script valida si existe riesgo de incendio a través de `LevelManager.RiesgoIncendioHabilitado()`; si es así, llama a `LevelManager.ErrorLiquido()` y termina la acción para prevenir accidentes. Si no se cumplen las condiciones de seguridad (`CondicionesSeguras == false`), también se interrumpe la acción. Si las condiciones son seguras, dependiendo del modo activo, se ejecuta `HandleCut()` o `HandleCoagulate()` para realizar la acción respectiva sobre el paciente. Finalmente, se verifica con `VerificarAmbasAcciones()` si tanto corte como coagulación ya fueron realizados; si se cumple la condición, se comunica al `LevelManager` mediante `MarcarCorteYCoagulacion()` para avanzar en el entrenamiento. Cabe agregar que, para realizar las acciones de corte y coagulación, fue necesario mapear las acciones de entrada para el control con los botones primarios. para el corte y secundarios para coagulación.

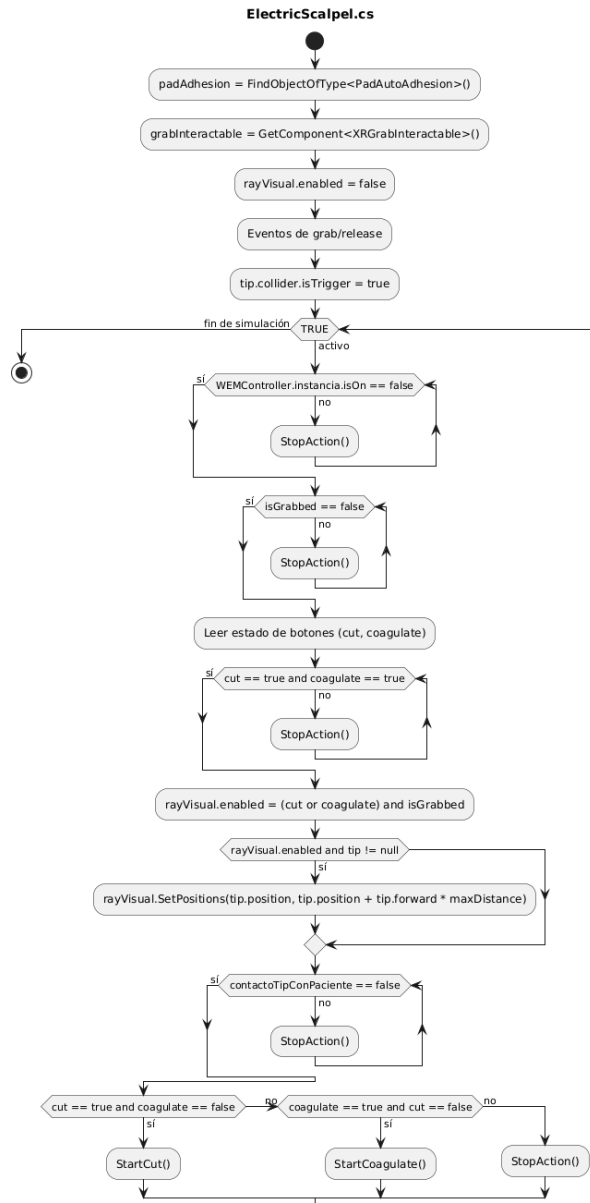


Figura 7.1: Flujo completo del script `ElectricScalpel.cs`: interacción, seguridad y coordinación con el `LevelManager`.

`HairManager.cs` (Figura 7.2) gestiona el control de progreso del rasurado. El flujo inicia con la inicialización de la variable `totalVello`s y la actualización de la interfaz de usuario. Cada vez que un vello individual (`HairStrand`) es cortado, se llama al método `ReportarVelloCortado()`, que incrementa la variable `vellosCortados` y actualiza el porcentaje de progreso en la interfaz gráfica. Si

el porcentaje es igual o mayor al 90 %, el script verifica si es la primera vez que se alcanza este umbral mediante la bandera `yaReportado`. Si es así, la variable `pielPreparada` se marca como verdadera, se notifica el avance a través de `LevelManager.MarcarVelloCompletado()`, y se activa el agente líquido con `LiquidManager.ActivarLiquido()`. Finalmente, se actualiza la bandera `yaReportado` para evitar duplicación de eventos.

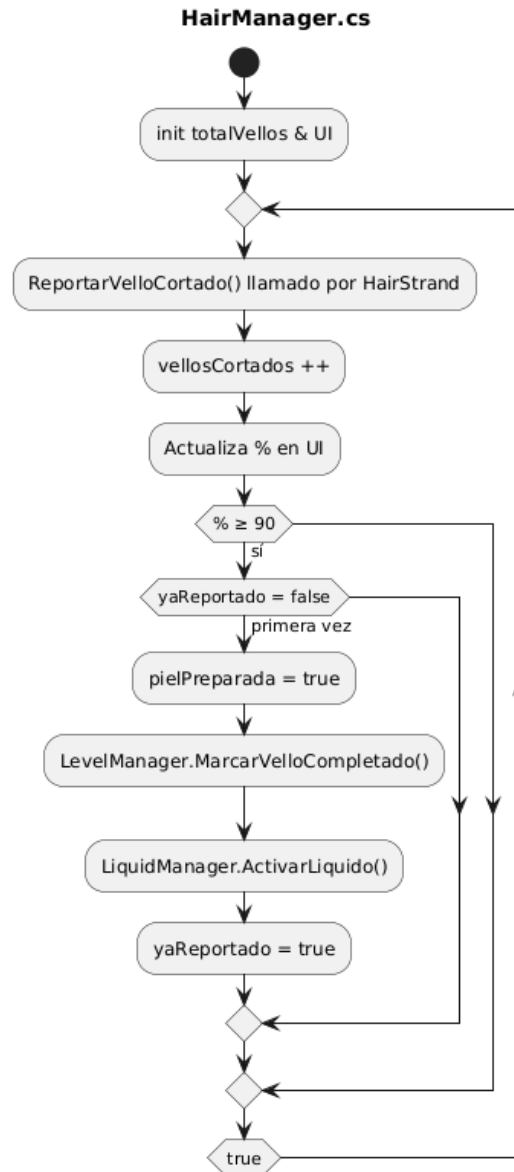


Figura 7.2: Flujo detallado de `HairManager.cs`: cálculo de progreso y comunicación con otros módulos.

HairStrand.cs (Figura 7.3) representa el ciclo de vida de cada vello individual. Cuando el blade de la rasuradora entra en contacto (`onTriggerEnter`), si el vello no ha sido cortado aún (`isCut == false`), se marca `isCut = true`, se libera el Rigidbody para que el vello caiga y se llama a `HairManager.ReportarVelloCortado()` para reportar el avance. Finalmente, el vello es destruido después de 2 segundos para limpiar la escena de objetos innecesarios.

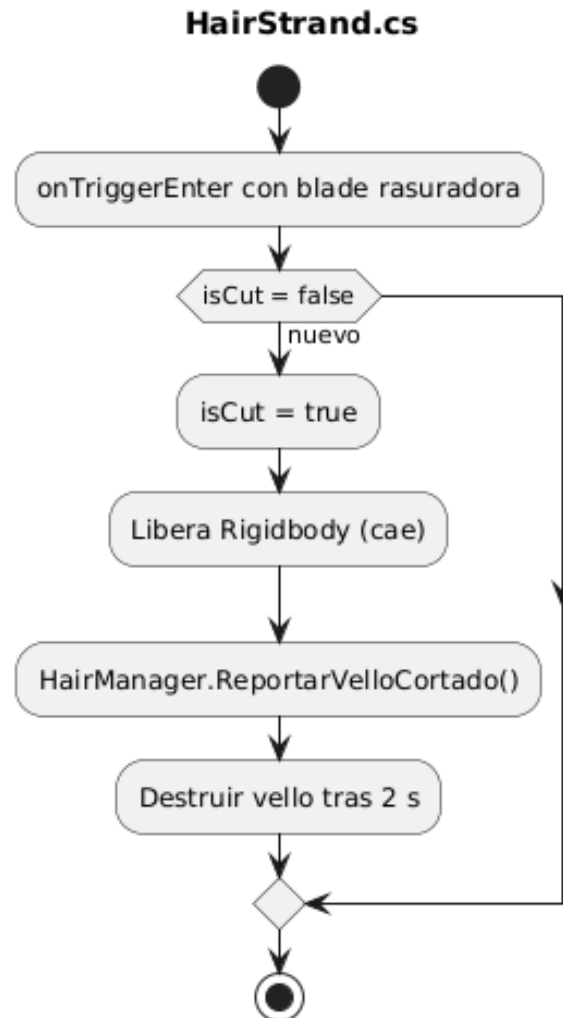


Figura 7.3: Diagrama de flujo de `HairStrand.cs`: ciclo de corte y reporte.

LifeManager.cs (Figura 7.4) controla el sistema de vidas y su visualización. Al iniciar (`Start()`), verifica si el nivel actual (`LevelManager.nivelActual`) es igual o superior a 2; si es así, muestra el contenedor de corazones en la UI, si no, lo oculta. El script espera llamadas al método `ActualizarCorazones(cantidad)`, las cuales provienen del `LevelManager`, y según la cantidad de

vidas restante, activa o desactiva visualmente cada corazón. El flujo se mantiene en bucle, esperando cambios en la cantidad de vidas para mantener la visualización sincronizada con el estado del jugador.

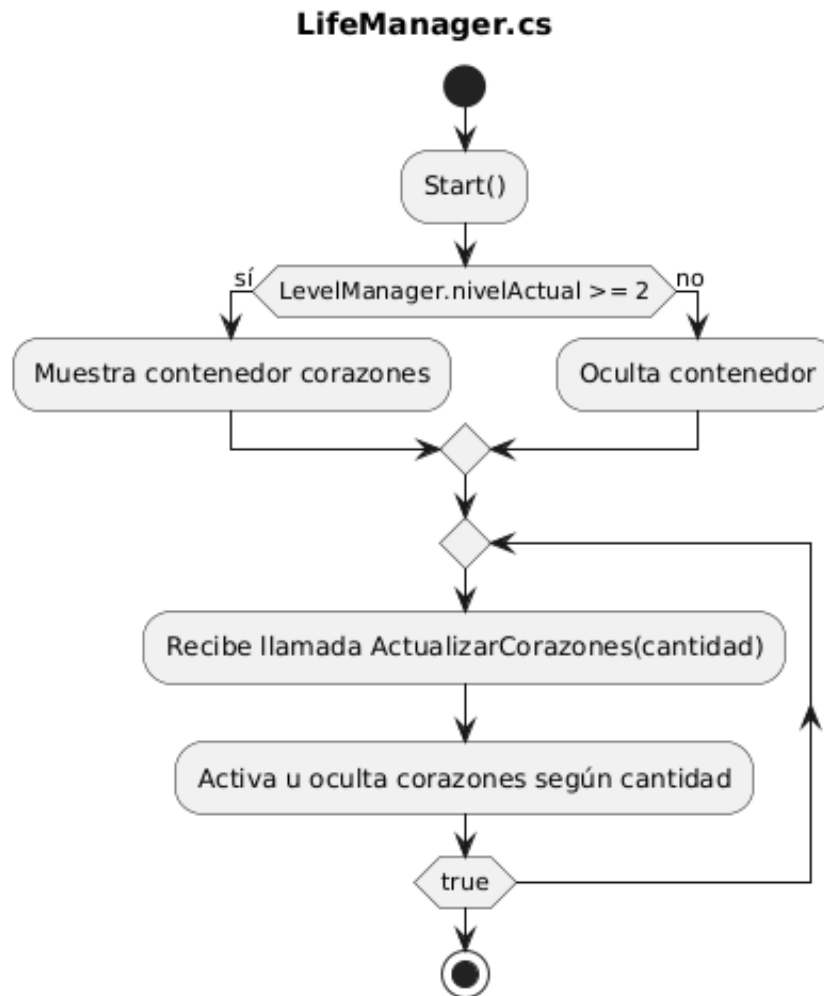


Figura 7.4: Ciclo de actualización de LifeManager.cs y su integración con el HUD.

LiquidManager.cs (Figura 7.5) describe el proceso completo de aparición y evaporación del agente líquido. Al llamarse `ActivarLíquido()`, se verifica si existe el prefab para el muslo y, en caso afirmativo, se instancia en la posición correspondiente. Lo mismo ocurre para el abdomen. Si se ha instanciado algún efecto líquido, la variable global `liquidosPresentes` en `LevelManager` se establece en verdadera y se inicia el temporizador de evaporación. El sistema cuenta hacia atrás (`timer > 0`) y, una vez agotado el tiempo, llama a `DesactivarRiesgoIncendio()` y desactiva la variable `liquidosPresentes`, habilitando el uso seguro del bisturí.

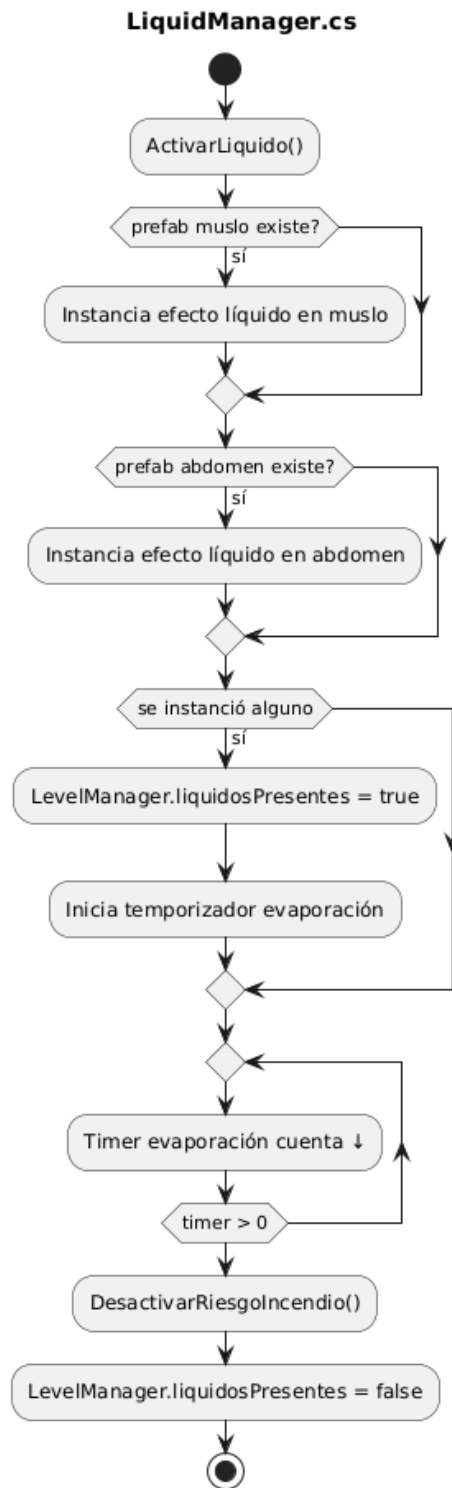


Figura 7.5: Gestión de instanciación y evaporación del agente líquido en `LiquidManager.cs`.

ModeManager.cs (Figura 7.6) se encarga de la selección automática de modos de corte y coagulación. Cuando el usuario solicita el modo de corte automático, el script lee la zona actual del bisturí y llama a `WEMController.SetCutMode()`; de forma análoga, al solicitar el modo de coagulación automático, lee la zona y ejecuta `SetCoagMode()`. El ciclo permite alternar entre modos según la necesidad clínica o de entrenamiento.

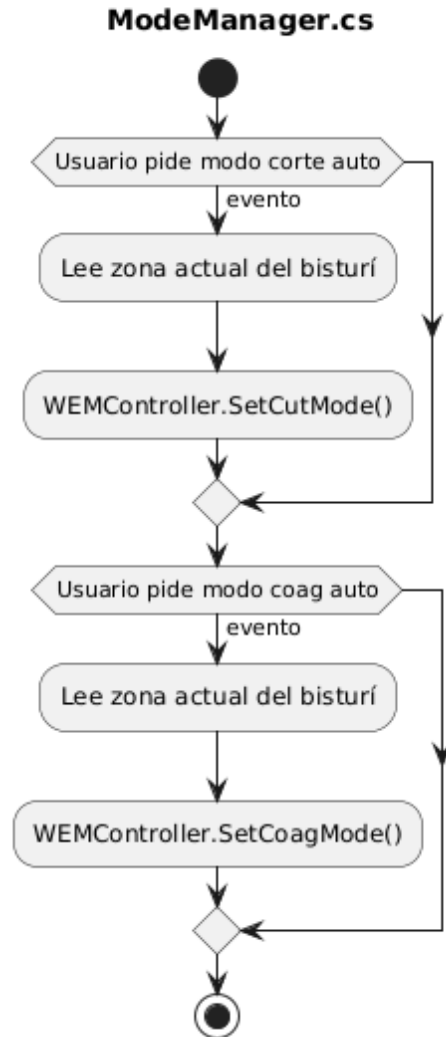


Figura 7.6: Ciclo de alternancia de modo en **ModeManager.cs**.

PadAutoAdhesion.cs (Figura 7.7) gestiona la lógica para el correcto pegado del pad de retorno. El script comienza inicializando referencias anatómicas y temporizadores. Cada ciclo de `Update()` recalcula distancias entre el pad y los puntos anatómicos relevantes (muslo y abdomen), actualizando listas de contacto. El porcentaje de pegado total y el de zona válida se calculan en

cada iteración. Si el porcentaje de pegado en zona válida es mayor o igual a 99%, el temporizador de contacto se incrementa; en caso contrario, se resetea. Si el pad se considera colocado ($\text{padColocado} = (\%pegado \geq 90)$), y además está en zona válida por suficiente tiempo, llama a `PadContactManager.ReportarContacto()` para notificar el avance.

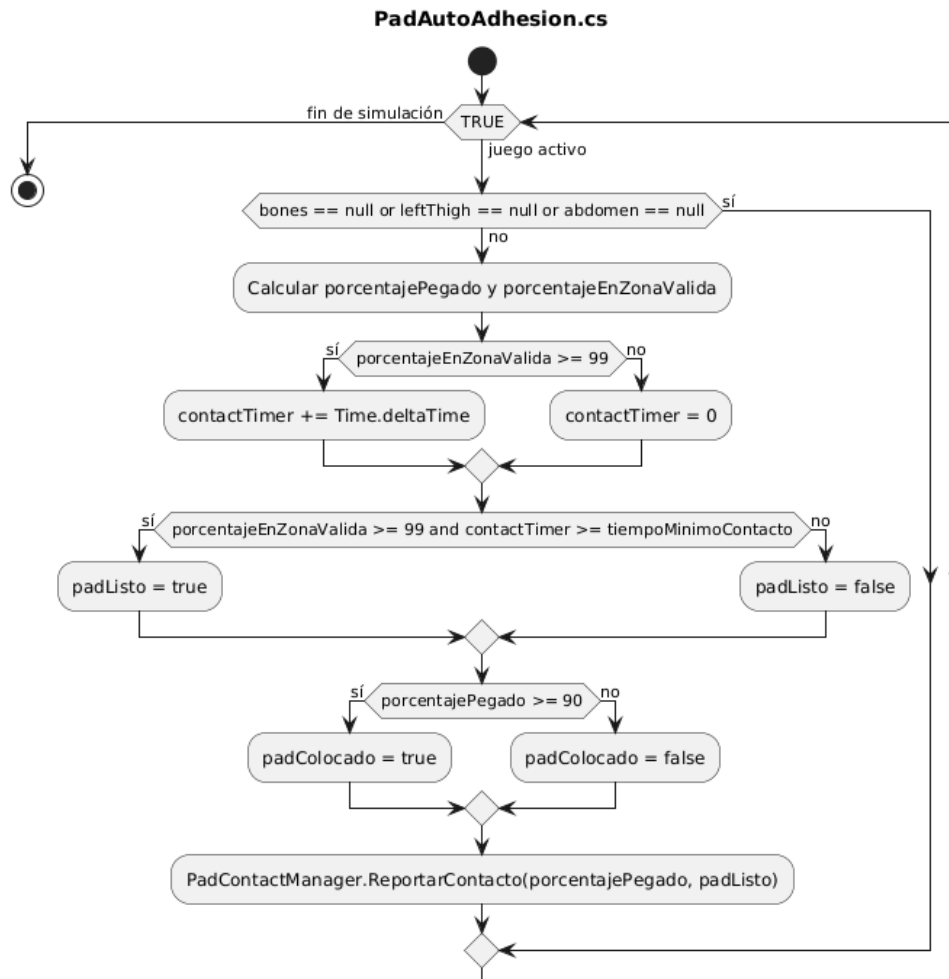


Figura 7.7: Flujo de cálculo y notificación de contacto en `PadAutoAdhesion.cs`.

PadContactManager.cs (Figura 7.8) controla la verificación del contacto suficiente del pad. El script inicia la interfaz en 0%. Cuando el método `ReportarContacto(%Contacto, padListo)` es llamado por el sistema de adhesión, actualiza el panel con el porcentaje de contacto. Si el contacto es igual o superior a 90% y el pad está listo, la variable `contactoSuficiente` se establece en verdadera y se comunica el avance al `LevelManager` usando `MarcarPadColocado()`. En caso contrario, la variable permanece falsa. El flujo permanece activo en bucle hasta lograr el contacto suficiente.

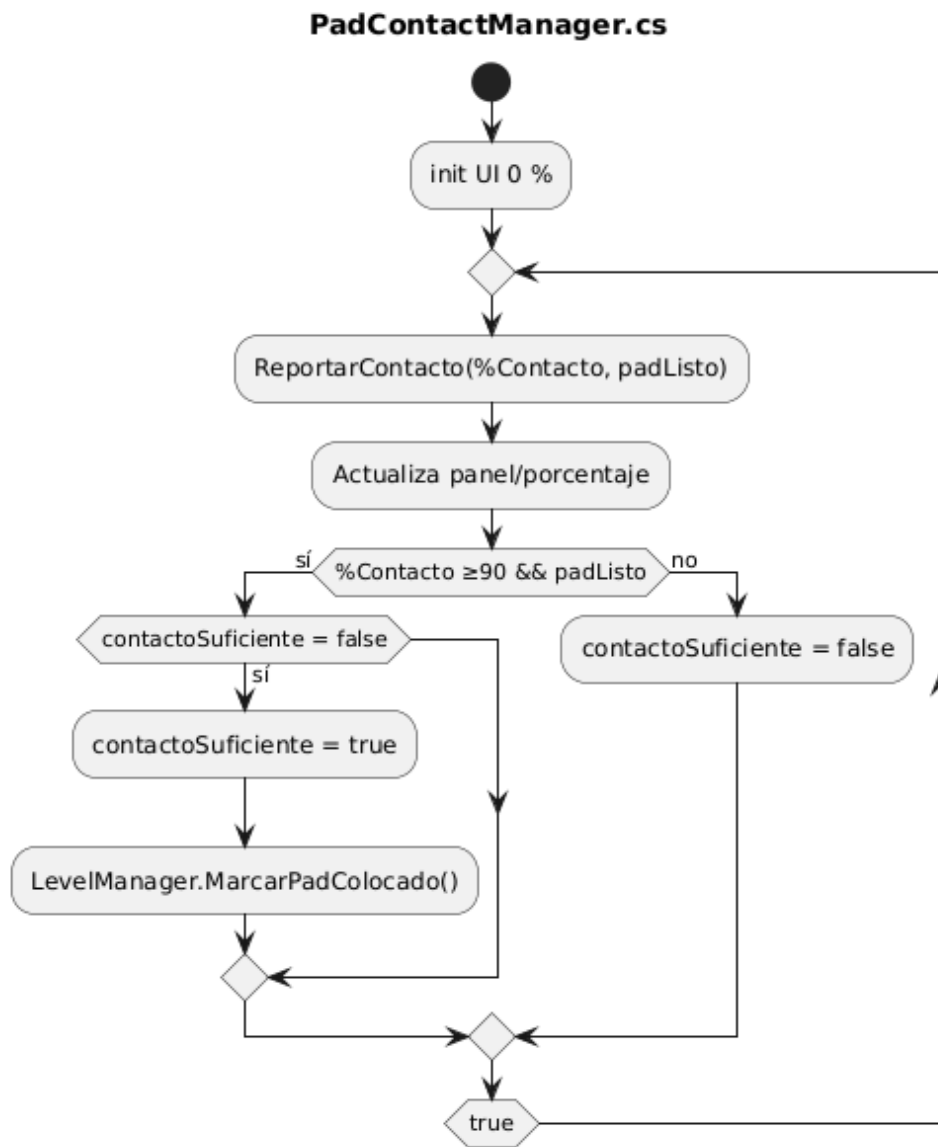


Figura 7.8: Proceso de validación de contacto en PadContactManager.cs.

RazorClipper.cs (Figura 7.9) modela la lógica de la rasuradora quirúrgica. En el método `Start()`, se registran los eventos necesarios y se asegura que el motor esté apagado por defecto. En cada ciclo de `Update()`, el sistema verifica si la rasuradora está siendo sujeta y si el botón de activación está presionado; si ambas condiciones se cumplen, se llama a `EncenderMotor()`, de lo contrario, a `ApagarMotor()`. Cuando ocurre una colisión (`onTriggerEnter`) con un objeto de tag "Hair" y la rasuradora está encendida, se llama a `HairStrand.CutHair()` para realizar el corte.

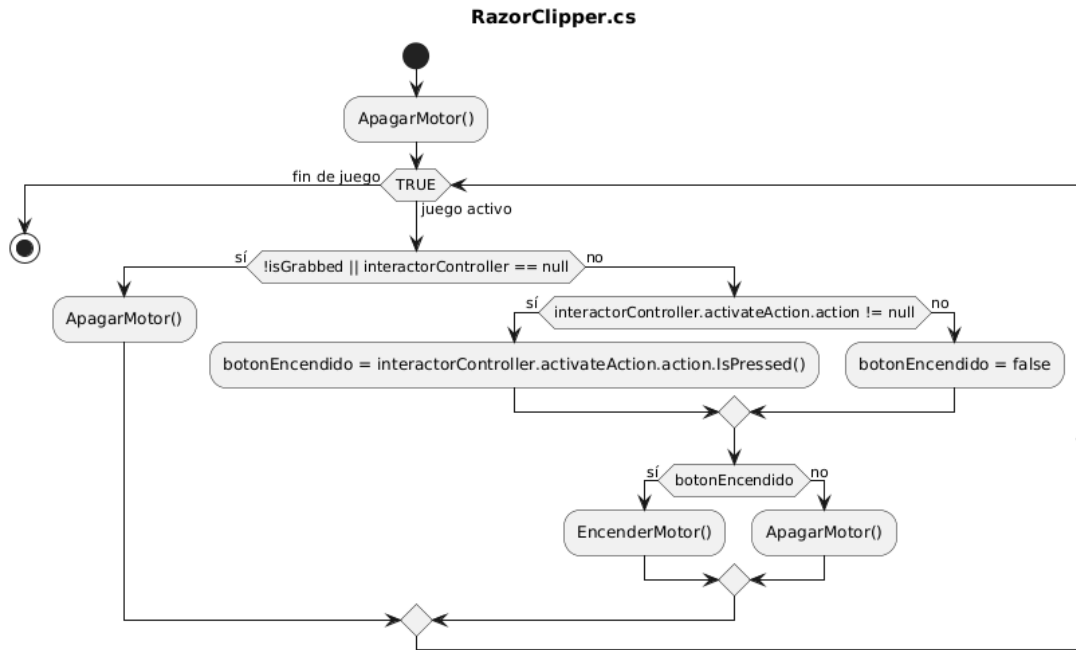


Figura 7.9: Detección y corte de vellos con `RazorClipper.cs`.

WEMController.cs (Figura 7.10) describe la gestión del generador de energía. Al iniciar, se configuran LEDs y pantallas. Cuando el usuario pulsa el botón de encendido, el sistema alterna entre el estado apagado (pantallas y LEDs off) y encendido, actualizando la potencia y la configuración de acuerdo con la zona anatómica activa. La selección de modos se realiza mediante los métodos `SetCutMode()` y `SetCoagMode()`, los cuales actualizan visualmente la consola. Cuando el usuario ajusta la potencia con los botones (+/-), el método `CambiarPotencia()` gestiona el cambio de valores. El ciclo es abierto y permite cualquier secuencia de acciones mientras el dispositivo esté encendido.

LevelManager.cs (Figura 7.11) funciona como macroflujo de control para toda la simulación. El proceso comienza con la inicialización global a través de los métodos `Awake()`, `Start()` y `CargarNivel(nivelActual)`, lo que determina la configuración de pantallas, cantidad de vidas y objetos presentes según el nivel. Los métodos `ResetearVellos()`, `ResetearPad()` y `ResetearLiquidosYFuego()` garantizan que el entorno esté limpio al iniciar cada nivel. La hoja/canvas inicial se muestra al usuario, el jugador es reposicionado y el temporizador se reinicia. El ciclo principal se basa en la escucha continua de eventos desde `HairManager`, `PadContactManager` y `ElectricScalpel`. El flujo avanza de manera automática a la siguiente hoja o fase cuando se completan las tareas requeridas, mediante `AvanceAutomatico()` o `SiguienteHoja()`. Cuando se detectan errores, ya sean leves o graves, se ejecuta `AplicarPenalizacion()` y se actualizan las vidas en `LifeManager`. Si el usuario se queda sin vidas, se reinicia el nivel y se guarda el log correspondiente. El sistema verifica si se han completado todas las fases; en tal caso, si existen niveles posteriores, estos se cargan secuencialmente; si no, se muestra la pantalla de felicitaciones. Todas las validaciones, penalizaciones y logs de desempeño pasan por este macroflujo, que asegura la integración y la lógica del entrenamiento.

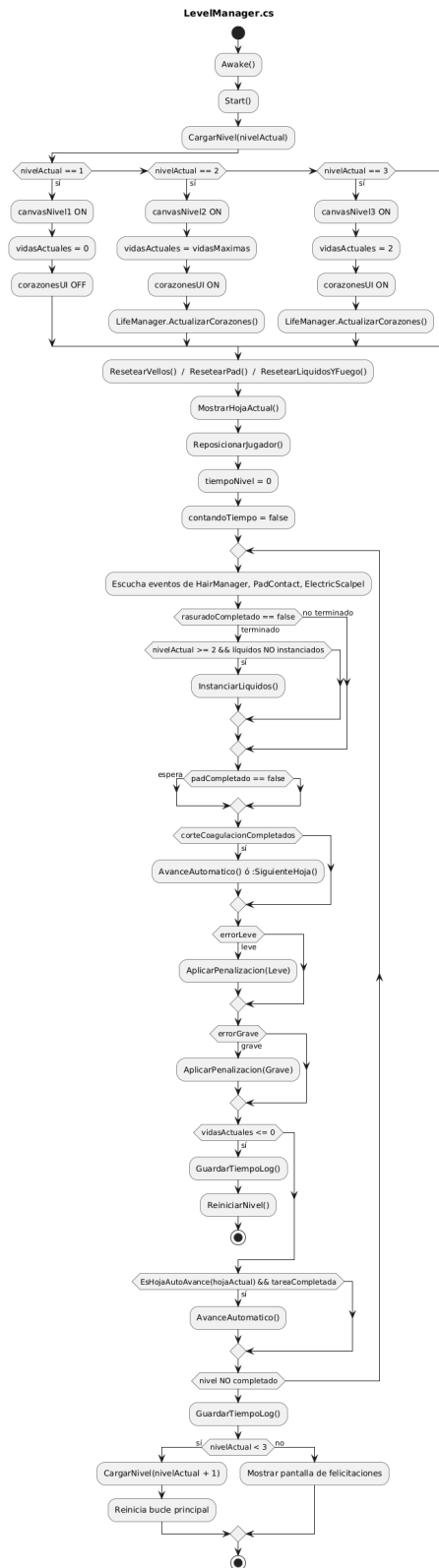


Figura 7.11: Macroflujo global de control y orquestación: LevelManager.cs.

Como puede apreciarse, cada paso, ciclo, método y variable de los scripts está representado y descrito en los diagramas y en el texto, permitiendo una trazabilidad total y facilitando el mantenimiento, validación y futuras ampliaciones de la herramienta de entrenamiento.

6. Pruebas, validación y refinamiento

El sistema fue sometido a ciclos iterativos de pruebas funcionales y de experiencia de usuario, enfocándose en la detección y solución de problemas de interacción (por ejemplo, agarre de objetos, mapeo de botones en Meta Quest 2, colisiones, y lógica de scripts). Se optimizó el uso de partículas, la detección de eventos y el feedback visual, y se refactorizaron los scripts para mayor claridad y mantenibilidad. La validación incluyó la comprobación de la secuencia de tareas, el correcto funcionamiento de las penalizaciones, la visualización del avance en los canvas y la robustez del registro automático de tiempos y logros.

7. Producto final y consideraciones

El resultado es una herramienta educativa integral y realista, basada en buenas prácticas de desarrollo y en principios de simulación clínica. La arquitectura modular, la integración de recursos open source y la programación estructurada en Unity y C# permitieron alcanzar una experiencia inmersiva, segura, didáctica y evaluable, con potencial de ser utilizada para la formación y evaluación de habilidades clínicas en entornos controlados.

Como complemento al proceso de diseño, se incluyen a continuación imágenes del entorno de la herramienta, que ilustran el aspecto visual alcanzado en la implementación. Estas capturas permiten evidenciar tanto la ambientación del escenario clínico como la integración de los elementos gráficos e interactivos que componen la experiencia de aprendizaje en realidad virtual.

Con la implementación de estos componentes, se logró un diseño funcional y contextualizado, orientado a facilitar el aprendizaje del uso seguro del electrobisturí en un entorno simulado. A continuación, se presentan ejemplos representativos de las pantallas y elementos interactivos de la herramienta de simulación, que permiten visualizar el entorno desarrollado y las principales actividades de aprendizaje integradas en la experiencia en realidad virtual.

Antes de presentar las diferentes interacciones específicas dentro del entorno simulado, en la Figura 7.12 se muestra una vista general del escenario virtual desarrollado. Esta perspectiva permite identificar los elementos principales disponibles para el usuario durante el entrenamiento.

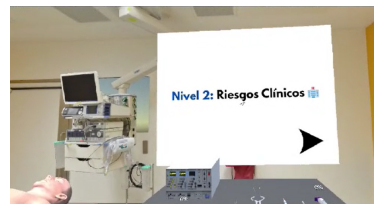


Figura 7.12: Vista general del entorno de entrenamiento en realidad virtual al inicio del Nivel 1.

En la Figura 7.13 se muestran ejemplos de los canvas e instrucciones desarrollados en la herramienta, que guían al estudiante durante las distintas etapas del proceso de aprendizaje, incluyendo la introducción a los niveles, la identificación de riesgos y los pasos a seguir en cada fase.



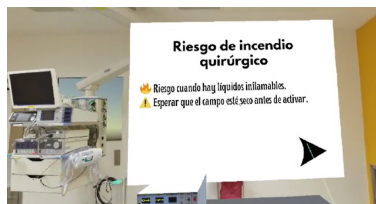
(a) Canvas - Nivel 1



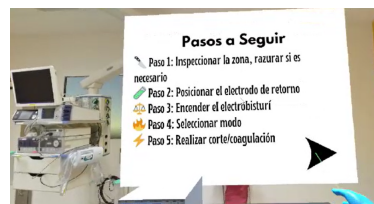
(b) Canvas - Nivel 2



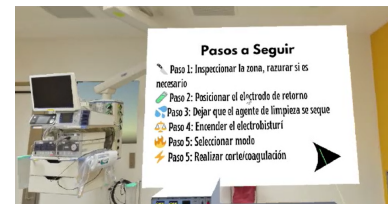
(c) Canvas - Nivel 3



(d) Canvas - Ejemplo de Riesgos



(e) Pasos - Nivel 1



(f) Pasos - Nivel 2

Figura 7.13: Ejemplos de pantallas informativas y de navegación (canvas) de la herramienta.

La Figura 7.14 presenta ejemplos de las actividades de preparación del paciente y de la interacción en el entorno VR, incluyendo la limpieza del campo operatorio, la colocación del electrodo de retorno y la visualización general del escenario simulado. Es importante aclarar que el sistema de vidas se presencia en el nivel 2 y 3, donde en el segundo nivel hay 3 vidas, y en el tercer nivel hay 2 vidas, y estas se pierden al cometer un error grave.

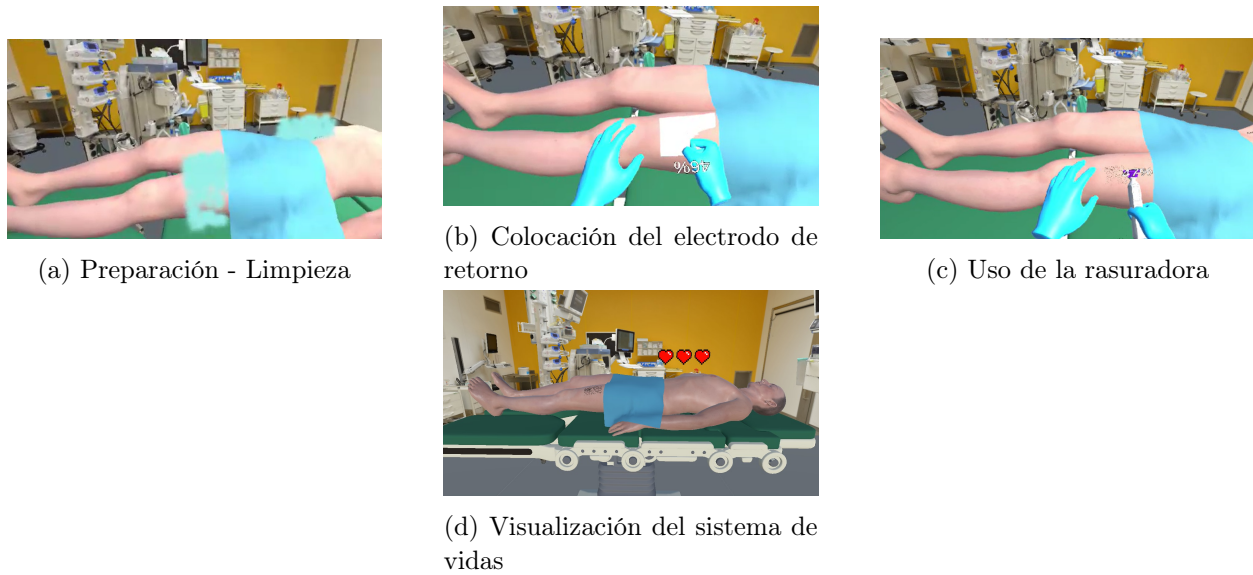


Figura 7.14: Interacciones específicas dentro del entorno de entrenamiento en realidad virtual.

En la Figura 7.15 se ilustran ejemplos de la interacción con la consola del electrobisturí dentro de la simulación, permitiendo al estudiante familiarizarse con las operaciones básicas del dispositivo, tales como el encendido, el ajuste de potencia y el apagado.

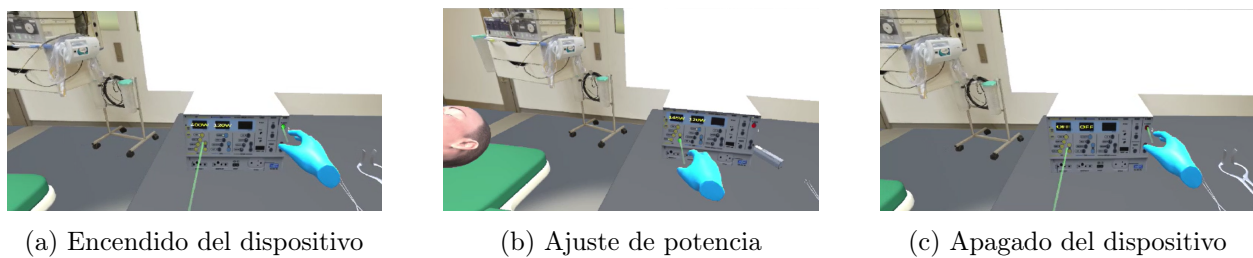


Figura 7.15: Interacción con la consola del electrobisturí en la simulación VR.

Finalmente, la Figura 7.16 muestra ejemplos de la simulación del uso del electrobisturí sobre el paciente, abarcando la ejecución de cortes, la coagulación y la visualización de posibles complicaciones como la generación de quemaduras.



(a) Simulación de corte

(b) Simulación de coagulación

(c) Visualización de quemadura

Figura 7.16: Simulación del uso del electrobisturí sobre el paciente en el entorno VR.

Las imágenes presentadas permiten visualizar de manera integral el entorno desarrollado en la herramienta de simulación, así como los principales elementos de la interfaz gráfica y las actividades interactivas diseñadas. A través de estos componentes, se logró construir una experiencia formativa contextualizada y alineada con los objetivos de aprendizaje planteados para el uso seguro del electrobisturí.

Con esta fase de diseño, la herramienta quedó preparada para su prueba en un entorno controlado.

7.2.4. Implementación en entorno controlado para evaluación de funcionalidad

La herramienta de entrenamiento fue implementada en un entorno controlado, específicamente en el hospital simulado de la universidad, con el propósito de observar su funcionalidad y validar su operatividad en un contexto educativo real.

La implementación se realizó con un grupo de 9 estudiantes voluntarios pertenecientes a las carreras y semestres previamente definidos en los criterios de inclusión y exclusión del estudio. La actividad se desarrolló en las condiciones planificadas, utilizando los equipos y la infraestructura disponibles en el hospital simulado, lo que permitió recrear un entorno formativo adecuado para el uso de la herramienta.

Durante esta fase, se observó el comportamiento funcional de la herramienta en aspectos como la estabilidad del software, la interacción con los controles VR, la presentación de los contenidos y el flujo de la experiencia de usuario.

7.3. Verificación de la funcionalidad de la herramienta mediante un modelo de evaluación cuantitativo

7.3.1. Evaluación del entrenamiento mediante el modelo de Kirkpatrick

Para medir de manera objetiva el impacto del entrenamiento proporcionado por la herramienta de gamificación desarrollada en este proyecto, se empleó el modelo de evaluación de Kirkpatrick,

reconocido internacionalmente como un marco estructurado para evaluar la efectividad de procesos formativos en múltiples niveles.

El modelo contempla cuatro niveles de evaluación:

- **Nivel 1 - Reacción:** Evalúa la percepción de los participantes respecto a la herramienta, su facilidad de uso, la experiencia de usuario, el enfoque de gamificación y la satisfacción general.

- **Nivel 2 - Aprendizaje:** Mide el grado de adquisición de conocimientos y habilidades relacionadas con el uso seguro del electrobisturí tras completar el entrenamiento.

- **Nivel 3 - Comportamiento:** Analiza los cambios en el comportamiento y la confianza de los participantes en la aplicación de lo aprendido en situaciones clínicas.

- **Nivel 4 - Resultados:** Valora el impacto general de la herramienta en la comprensión del manejo seguro del electrobisturí y en la preparación de los estudiantes para el uso futuro de dispositivos biomédicos.

Con el fin de facilitar la recolección sistemática de las respuestas y garantizar un análisis eficiente de los resultados, la evaluación fue adaptada a un formulario digital a través de Microsoft Forms, conservando la estructura original del modelo Kirkpatrick e integrando preguntas específicas para cada nivel.

El instrumento diseñado incluye preguntas de respuesta cerrada, escalas de valoración y espacios para comentarios abiertos, lo que permite obtener una visión tanto cuantitativa como cualitativa del impacto del entrenamiento. Las preguntas correspondientes se presentan en las Tablas 7.1 y 7.2.

Nivel	Pregunta y opciones de respuesta
Nivel 1: Reacción	<p>1. ¿Qué tan fácil fue para usted acceder y usar la herramienta de entrenamiento? Opciones: Muy fácil, Fácil, Neutral, Difícil, Muy difícil.</p> <p>2. ¿La herramienta cumplió con sus expectativas en cuanto a la interacción y la experiencia de usuario? Opciones: Totalmente de acuerdo, De acuerdo, Neutral, En desacuerdo, Totalmente en desacuerdo.</p> <p>3. ¿Considera que el enfoque de gamificación mejoró su experiencia de aprendizaje? Opciones: Sí, No.</p> <p>4. ¿El contenido de la herramienta fue claro y fácil de comprender? Opciones: Totalmente de acuerdo, De acuerdo, Neutral, En desacuerdo, Totalmente en desacuerdo.</p> <p>5. ¿Recomendaría esta herramienta? Opciones: Sí, No.</p> <p>6. Comentarios adicionales sobre su experiencia con la herramienta (respuesta abierta).</p>
Nivel 2: Aprendizaje	<p>1. ¿Cuánto ha mejorado su comprensión sobre el uso seguro del electrobisturí tras utilizar la herramienta? Opciones: Ha mejorado significativamente, Ha mejorado, No ha cambiado, Ha empeorado.</p> <p>2. ¿Considera que la herramienta le ayudó a adquirir habilidades prácticas necesarias para el uso del electrobisturí en un entorno real? Opciones: Sí, No.</p> <p>3. ¿Considera que la herramienta ha mejorado su capacidad para identificar y manejar riesgos relacionados con el electrobisturí? Opciones: Sí, No.</p> <p>4. ¿Se sintió preparado para aplicar lo aprendido en situaciones clínicas reales? Opciones: Totalmente preparado, Algo preparado, No preparado.</p> <p>5. Comentarios adicionales sobre lo aprendido y las habilidades adquiridas (respuesta abierta).</p>

Cuadro 7.1: Evaluación adaptada del modelo Kirkpatrick, Niveles 1 y 2.

Nivel	Pregunta y opciones de respuesta
Nivel 3: Comportamiento	<p>1. ¿De 0 a 5, cuánto mejoró su desempeño al utilizar el electrobisturí desde que completó el entrenamiento? Opciones: 1, 2, 3, 4, 5.</p> <p>2. ¿Se siente más seguro/a al hablar o aprender sobre el uso del electrobisturí después de la capacitación recibida? Opciones: Mucho más seguro/a, Algo más seguro/a, No he notado diferencia.</p> <p>3. Comentarios adicionales sobre cómo ha cambiado su comportamiento en el uso del electrobisturí (respuesta abierta).</p>
Nivel 4: Resultados	<p>1. ¿Cree que el uso de esta herramienta ha mejorado su capacidad para comprender el manejo seguro del electrobisturí? Opciones: Sí, No.</p> <p>2. ¿Considera que la herramienta ha sido útil para su aprendizaje en relación con la seguridad del paciente en el uso del electrobisturí? Opciones: Sí, No.</p> <p>3. ¿Cómo calificaría el impacto de esta herramienta en su aprendizaje sobre dispositivos biomédicos? Opciones: Muy positivo, Positivo, Neutral, Negativo.</p> <p>4. ¿Considera que la herramienta ha ayudado a preparar mejor a los estudiantes para el futuro manejo de equipos biomédicos como el electrobisturí? Opciones: Sí, No.</p> <p>5. Comentarios adicionales sobre los resultados observados en su aprendizaje (respuesta abierta).</p> <p>6. ¿Recomendaría esta herramienta como parte del proceso de formación en su carrera? Opciones: Sí, No.</p>

Cuadro 7.2: Evaluación adaptada del modelo Kirkpatrick, Niveles 3 y 4.

Este enfoque permite no solo medir la efectividad inmediata del entrenamiento, sino también

generar evidencia sobre su contribución al aprendizaje de los participantes y a la mejora de la seguridad en el uso del electrobisturí.

7.3.2. Aplicación del modelo de evaluación de Kirkpatrick en el grupo de entrenamiento

Se aplicó el modelo de evaluación de Kirkpatrick a un grupo de estudiantes voluntarios de ciencias de la salud con el objetivo de valorar el impacto del uso de la herramienta de gamificación diseñada para el aprendizaje del uso seguro del electrobisturí. Los participantes completaron un formulario digital en Microsoft Forms, adaptado al modelo, que evaluó aspectos como usabilidad, interacción, percepción de aprendizaje y cambios de comportamiento.

Adicionalmente, se contó con un grupo de estudiantes que no participó en el entrenamiento con la herramienta, utilizado como grupo de referencia. No se les aplicó el instrumento de evaluación basado en el modelo Kirkpatrick, ya que este fue diseñado específicamente para evaluar aspectos relacionados con la experiencia de uso de la herramienta, como usabilidad, interacción, percepción de aprendizaje y cambios de comportamiento. Sin embargo, este sirvió como un grupo comparativo de referencia para análisis como también para futuras fases del proyecto, en las cuales se podrán desarrollar instrumentos más adecuados para evaluar variables comunes a ambos grupos como por ejemplo, conocimientos previos o desempeño en escenarios prácticos.

Esta aplicación permitió valorar la efectividad de la herramienta en términos de satisfacción, aprendizaje percibido, intención de aplicación práctica y resultados esperados, de acuerdo con los niveles establecidos por el modelo Kirkpatrick.

7.3.3. Análisis de datos sobre la funcionalidad de la herramienta en el desarrollo de competencias

Se realizó la convocatoria de estudiantes voluntarios pertenecientes a las carreras y semestres previamente definidos en los criterios de inclusión y exclusión del estudio.

Una vez confirmados los participantes la actividad se llevó a cabo en el hospital simulado de la universidad, donde se dispuso del electrobisturí de referencia (WEM SS-501SX). Al inicio del encuentro, los estudiantes aceptaron el consentimiento informado correspondiente, y posteriormente se les entregó un instructivo elaborado por el investigador, que contenía información ampliada sobre el uso del electrobisturí, así como la normativa vigente (normas AST y regulaciones nacionales) aplicable a su uso seguro. El objetivo de este instructivo fue proporcionar una base teórica complementaria, evitando la sobrecarga de información dentro de la herramienta de gamificación. El instructivo entregado a los participantes se presenta en el Anexo 10.

El contenido del instructivo fue además explicado de manera presencial, utilizando el electrobisturí físico para facilitar la comprensión de los conceptos, modos de uso y recomendaciones de

seguridad. Adicionalmente, se recomendó leer el manual de servicio del WEM SS-501 SX previo a su interacción con el equipo, este habla acerca de la preparación para uso del equipo, sin embargo sus indicaciones son generales frente al uso y no se hace hincapie en la importancia de la preparación adecuada, por esta razón, es clave seguir estándares de práctica como los que propone el AST que van más a profundidad sobre el uso adecuado de los electrodos.

Posteriormente, los estudiantes interactuaron con la herramienta de entrenamiento en realidad virtual, siguiendo el enfoque formativo propuesto, centrado en el uso seguro del electrobisturí y en la preparación adecuada del paciente. Finalizada la actividad en VR, se procedió a la aplicación de la evaluación basada en el modelo de Kirkpatrick, mediante un formulario digital. Adicionalmente, se solicitó a los estudiantes que volvieran a interactuar de forma reflexiva con el electrobisturí físico, enfatizando en los aspectos relacionados con la seguridad del paciente, tales como la correcta preparación del campo operatorio, la colocación adecuada del electrodo de retorno y el uso apropiado de los controles del dispositivo. Durante esta fase, se observó una mejora notable en la confianza de los participantes al manipular el equipo, así como en su comprensión práctica de los procedimientos seguros asociados a su uso.

El análisis de los resultados de la evaluación aplicada al grupo experimental se presenta a continuación, organizado conforme a los cuatro niveles del modelo de evaluación de Kirkpatrick. Este grupo está conformado por 9 estudiantes pertenecientes al área de la salud.

Nivel 1: Reacción En este nivel se evaluó la percepción de los estudiantes respecto a la usabilidad de la herramienta, la calidad de la interacción y la experiencia de gamificación. En la Tabla 7.3, se exponen las respuestas de los estudiantes.

Los resultados obtenidos en el **Nivel 1** muestran una valoración positiva por parte de los participantes. La mayoría reportó que el acceso y uso de la herramienta fue sencillo, destacando que resultó “Muy fácil” o “Fácil” para la mayoría de los estudiantes.

Asimismo, un porcentaje significativo de los participantes manifestó que la herramienta cumplió plenamente sus expectativas en cuanto a la interacción y la experiencia de usuario, sin reportes de percepciones negativas.

Otro hallazgo importante fue que el 100% de los estudiantes consideraron que el enfoque de gamificación mejoró su experiencia de aprendizaje. Este aspecto es clave, ya que refuerza el valor pedagógico de la herramienta y su capacidad para facilitar la asimilación de conceptos clave relacionados con el uso seguro del electrobisturí, permitiendo un aprendizaje más claro y efectivo en comparación con métodos tradicionales.

La claridad y comprensión del contenido también fueron evaluadas de forma positiva. Todos los estudiantes indicaron estar de acuerdo o totalmente de acuerdo con que el contenido fue claro y

Pregunta	Gráfica										
<p>¿Qué tan fácil fue para usted acceder y usar la herramienta de entrenamiento?</p>	 <table border="1" data-bbox="893 399 1055 556"> <tr><td>Muy fácil</td><td>5</td></tr> <tr><td>Fácil</td><td>2</td></tr> <tr><td>Neutral</td><td>2</td></tr> <tr><td>Difícil</td><td>0</td></tr> <tr><td>Muy difícil</td><td>0</td></tr> </table>	Muy fácil	5	Fácil	2	Neutral	2	Difícil	0	Muy difícil	0
Muy fácil	5										
Fácil	2										
Neutral	2										
Difícil	0										
Muy difícil	0										
<p>¿La herramienta cumplió con sus expectativas en cuanto a la interacción y la experiencia de usuario?</p>	 <table border="1" data-bbox="893 714 1055 840"> <tr><td>Totalmente de acuerdo</td><td>5</td></tr> <tr><td>De acuerdo</td><td>4</td></tr> <tr><td>Neutral</td><td>0</td></tr> <tr><td>En desacuerdo</td><td>0</td></tr> <tr><td>Totalmente en desacuerdo</td><td>0</td></tr> </table>	Totalmente de acuerdo	5	De acuerdo	4	Neutral	0	En desacuerdo	0	Totalmente en desacuerdo	0
Totalmente de acuerdo	5										
De acuerdo	4										
Neutral	0										
En desacuerdo	0										
Totalmente en desacuerdo	0										
<p>¿Considera que el enfoque de gamificación mejoró su experiencia de aprendizaje?</p>	 <table border="1" data-bbox="925 1050 1039 1113"> <tr><td>Si</td><td>9</td></tr> <tr><td>No</td><td>0</td></tr> </table>	Si	9	No	0						
Si	9										
No	0										
<p>¿El contenido de la herramienta fue claro y fácil de comprender?</p>	 <table border="1" data-bbox="893 1323 1055 1449"> <tr><td>Totalmente de acuerdo</td><td>8</td></tr> <tr><td>De acuerdo</td><td>0</td></tr> <tr><td>Neutral</td><td>1</td></tr> <tr><td>En desacuerdo</td><td>0</td></tr> <tr><td>Totalmente en desacuerdo</td><td>0</td></tr> </table>	Totalmente de acuerdo	8	De acuerdo	0	Neutral	1	En desacuerdo	0	Totalmente en desacuerdo	0
Totalmente de acuerdo	8										
De acuerdo	0										
Neutral	1										
En desacuerdo	0										
Totalmente en desacuerdo	0										
<p>¿Recomendaría esta herramienta?</p>	 <table border="1" data-bbox="893 1638 1006 1701"> <tr><td>Sí</td><td>9</td></tr> <tr><td>No</td><td>0</td></tr> </table>	Sí	9	No	0						
Sí	9										
No	0										

Cuadro 7.3: Resultados de la evaluación - Nivel 1: Reacción.

fácil de comprender, lo cual garantiza que la herramienta logró comunicar de manera efectiva los conceptos fundamentales relacionados con el uso seguro del electrobisturí.

Finalmente, la aceptación global de la herramienta quedó evidenciada en el hecho de que el 100 % de los participantes recomendarían su inclusión como parte del proceso de formación en su carrera.

En los comentarios cualitativos, los estudiantes expresaron valoraciones positivas sobre la herramienta. Algunos destacaron que la modalidad de juego les resultó atractiva y útil para el proceso de aprendizaje. También se sugirió que la incorporación de una demostración previa podría facilitar la comprensión inicial del funcionamiento de la herramienta. Además, se valoró positivamente la inclusión de elementos como el sistema de vidas, que contribuye a que los estudiantes puedan identificar y corregir errores durante la actividad.

En conjunto, el análisis del Nivel 1 evidencia que la herramienta de gamificación fue bien recibida, considerada accesible, clara, motivadora y pertinente como complemento para la formación en el uso seguro del electrobisturí.





Nivel 2: Aprendizaje El Nivel 2 del modelo de evaluación de Kirkpatrick se enfocó en valorar el impacto de la herramienta de gamificación en la adquisición de conocimientos y habilidades relacionados con el uso seguro del electrobisturí. En la Tabla 7.4, se exponen las respuestas de los estudiantes.

Los resultados del **Nivel 2** reflejan una percepción altamente positiva respecto al aprendizaje logrado. El 100 % de los participantes reportaron que su comprensión sobre el uso seguro del electrobisturí mejoró tras utilizar la herramienta: el 89 % indicó que su comprensión “Ha mejorado significativamente” y el 11 % señaló que “Ha mejorado”.

Asimismo, la totalidad de los estudiantes consideraron que la herramienta les ayudó a adquirir habilidades prácticas necesarias para el uso del electrobisturí en un entorno clínico real. Del mismo modo, todos los participantes afirmaron que la herramienta mejoró su capacidad para identificar y manejar riesgos asociados al uso del dispositivo.

En cuanto a la preparación para aplicar lo aprendido en situaciones clínicas reales, el 67 % de los estudiantes se manifestaron “Totalmente preparados”, mientras que el 33 % se consideraron “Algo preparados”, sin reportes de participantes que se sintieran “No preparados”. Estos resultados evidencian que la herramienta no solo facilitó la comprensión teórica, sino que también fortaleció la percepción de preparación práctica en el contexto clínico.

Los comentarios cualitativos aportados por los estudiantes refuerzan estos hallazgos. Algunos participantes destacaron explícitamente que la herramienta les permitió comprender cómo utilizar

Pregunta	Gráfica								
<p>¿Cuánto ha mejorado su comprensión sobre el uso seguro del electrobisturí tras utilizar la herramienta?</p>	 <table border="1" data-bbox="922 541 1104 646"> <tr> <td>● Ha mejorado significativamente</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>● Ha mejorado</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>● No ha cambiado</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>● Ha empeorado</td> <td>0</td> </tr> </table>	● Ha mejorado significativamente	8	● Ha mejorado	1	● No ha cambiado	0	● Ha empeorado	0
● Ha mejorado significativamente	8								
● Ha mejorado	1								
● No ha cambiado	0								
● Ha empeorado	0								
<p>¿Considera que la herramienta le ayudó a adquirir habilidades prácticas necesarias para el uso del electrobisturí en un entorno real?</p>	 <table border="1" data-bbox="954 877 1047 930"> <tr> <td>● Sí</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>● No</td> <td>0</td> </tr> </table>	● Sí	9	● No	0				
● Sí	9								
● No	0								
<p>¿Considera que la herramienta ha mejorado su capacidad para identificar y manejar riesgos relacionados con el electrobisturí?</p>	 <table border="1" data-bbox="954 1180 1047 1232"> <tr> <td>● Sí</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>● No</td> <td>0</td> </tr> </table>	● Sí	9	● No	0				
● Sí	9								
● No	0								
<p>¿Se sintió preparado para aplicar lo aprendido en situaciones clínicas reales?</p>	 <table border="1" data-bbox="922 1465 1096 1549"> <tr> <td>● Totalmente preparado</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>● Algo preparado</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>● No preparado</td> <td>0</td> </tr> </table>	● Totalmente preparado	6	● Algo preparado	3	● No preparado	0		
● Totalmente preparado	6								
● Algo preparado	3								
● No preparado	0								

Cuadro 7.4: Resultados de la evaluación - Nivel 2: Aprendizaje.

Pregunta	Gráfica
¿De 0 a 5, cuánto mejoró su desempeño al utilizar el electrobisturí desde que completó el entrenamiento?	<p> ● 1 0 ● 2 0 ● 3 0 ● 4 2 ● 5 7 </p>
¿Se siente más seguro/a al hablar o aprender sobre el uso del electrobisturí después de la capacitación recibida?	<p> ● Mucho más seguro/a 7 ● Algo más seguro/a 2 ● No he notado diferencia 0 </p>

Cuadro 7.5: Resultados de la evaluación - Nivel 3: Comportamiento.

el electrobisturí y cuáles son los cuidados esenciales que deben tenerse en cuenta. Se señaló también que la herramienta ayudó a clarificar tanto la función del dispositivo como los parámetros clave que se deben considerar para su uso seguro.

En conjunto, los resultados del Nivel 2 muestran que la herramienta de gamificación fue eficaz no solo para mejorar la comprensión conceptual del electrobisturí, sino también para fortalecer la preparación práctica de los estudiantes y su capacidad para reconocer y manejar riesgos en su uso clínico.

Nivel 3: Comportamiento

El Nivel 3 del modelo de evaluación de Kirkpatrick se centró en identificar los cambios percibidos en el comportamiento de los estudiantes tras el entrenamiento con la herramienta de gamificación, particularmente en relación con su desempeño y seguridad en el uso del electrobisturí. En la Tabla 7.5, se exponen las respuestas de los estudiantes.

Los resultados obtenidos en el **Nivel 3** fueron positivos. En cuanto a la autoevaluación de la mejora en el desempeño, el 78% de los participantes calificaron su progreso con la máxima puntuación (5), mientras que el 22% seleccionaron una puntuación de 4, evidenciando que todos los estudiantes percibieron una mejora sustancial en su desempeño tras completar el entrenamiento.

Asimismo, en relación con la confianza para hablar o aprender sobre el uso del electrobisturí, el 78% de los participantes se manifestaron “Mucho más seguros/as”, mientras que el 22% se consi-

deraron “Algo más seguros/as”, sin registros de estudiantes que no hayan percibido cambios en su seguridad.

Estos resultados sugieren que la herramienta no solo fortaleció la comprensión teórica y práctica, sino que también tuvo un impacto significativo en la autoconfianza de los estudiantes para abordar el uso del dispositivo en contextos clínicos y académicos.

Los comentarios cualitativos recogidos en este nivel refuerzan las percepciones positivas observadas. Algunos participantes señalaron que el entrenamiento les permitió comprender el uso del electrobisturí desde una perspectiva más técnica y clínica, ampliando su visión sobre el dispositivo. Otros destacaron que el aprendizaje logrado fue muy positivo, especialmente para aquellos que no tenían conocimientos previos sobre el funcionamiento del electrobisturí.

En conjunto, los resultados del Nivel 3 reflejan que la herramienta de gamificación no solo contribuyó al desarrollo de habilidades prácticas, sino que también fortaleció la autoconfianza y la disposición de los estudiantes para aplicar lo aprendido en escenarios reales y para comunicarse sobre el tema con mayor seguridad.

Nivel 4: Resultados El Nivel 4 del modelo de evaluación de Kirkpatrick se orientó a valorar el impacto global de la herramienta de gamificación en el aprendizaje de los estudiantes, así como en su preparación para el uso seguro del electrobisturí y de otros dispositivos biomédicos. En la Tabla 7.6, se exponen las respuestas de los estudiantes.

Los resultados obtenidos en el **Nivel 4** fueron satisfactorios. El 100 % de los estudiantes indicó que el uso de la herramienta mejoró su capacidad para comprender el manejo seguro del electrobisturí. Igualmente, la totalidad de los participantes consideró que la herramienta fue útil para su aprendizaje en relación con la seguridad del paciente, un aspecto esencial en el contexto clínico.

En cuanto al impacto global de la herramienta en el aprendizaje sobre dispositivos biomédicos, el 78 % calificó este impacto como “Muy positivo” y el 22 % como “Positivo”, reflejando una percepción unánimemente favorable.

Además, el 100 % de los estudiantes consideraron que la herramienta contribuyó a prepararlos mejor para el futuro manejo de equipos biomédicos como el electrobisturí. Asimismo, todos recomendarían que la herramienta sea incorporada como parte del proceso formal de formación en su carrera.

Los comentarios cualitativos ofrecidos por los estudiantes refuerzan estos resultados. Los participantes valoraron positivamente la modalidad de juego y su aporte al proceso de aprendizaje. Se destacó que el diseño de la herramienta facilita la comprensión de los conceptos clave y promueve un aprendizaje activo. Además, algunos comentarios señalaron que la incorporación de elementos como las “vidas” contribuye a que el proceso sea más didáctico y que permite al estudiante reflexionar

Pregunta	Gráfica
¿Cree que el uso de esta herramienta ha mejorado su capacidad para comprender el manejo seguro del electrobisturí?	<p>● Sí 9 ● No 0</p> <p>100%</p>
¿Considera que la herramienta ha sido útil para su aprendizaje en relación con la seguridad del paciente en el uso del electrobisturí?	<p>● Sí 9 ● No 0</p> <p>100%</p>
¿Cómo calificaría el impacto de esta herramienta en su aprendizaje sobre dispositivos biomédicos?	<p>● Muy positivo 7 ● Positivo 2 ● Neutral 0 ● Negativo 0</p> <p>22% 78%</p>
¿Considera que la herramienta ha ayudado a preparar mejor a los estudiantes para el futuro manejo de equipos biomédicos como el electrobisturí?	<p>● Sí 9 ● No 0</p> <p>100%</p>
¿Recomendaría esta herramienta como parte del proceso de formación en su carrera?	<p>● Sí 9 ● No 0</p> <p>100%</p>

Cuadro 7.6: Resultados de la evaluación - Nivel 4: Resultados.

sobre sus errores de manera constructiva. También, se sugirió que incluir un tutorial previo el cuál podría enriquecer aún más la experiencia formativa.

En conjunto, los resultados del Nivel 4 evidencian que la herramienta de gamificación no solo cumplió su propósito de fortalecer el aprendizaje sobre el uso seguro del electrobisturí, sino que además tiene el potencial de contribuir a la formación integral de los estudiantes en el manejo de dispositivos biomédicos, promoviendo una cultura de seguridad y un aprendizaje práctico y significativo.

Los resultados obtenidos a través de la aplicación del modelo de evaluación de Kirkpatrick al grupo experimental permiten concluir que la herramienta de gamificación desarrollada fue altamente efectiva y bien valorada por los estudiantes, tanto en términos de usabilidad como de impacto en el aprendizaje. A partir de esto, obtuvimos las siguientes conclusiones de la herramienta:

En el **Nivel 1: Reacción**, los participantes manifestaron una experiencia positiva en el uso de la herramienta, destacando su facilidad de uso, la claridad de los contenidos y la utilidad del enfoque de gamificación. El 100% recomendaría su incorporación en el proceso formativo. Los comentarios abiertos sugirieron como mejora la inclusión de una demostración previa que facilite la familiarización inicial con la herramienta.

En el **Nivel 2: Aprendizaje**, los estudiantes reportaron mejoras significativas en su comprensión sobre el uso seguro del electrobisturí, así como en la adquisición de habilidades prácticas y en su capacidad para identificar y manejar riesgos. Los comentarios cualitativos corroboraron que la herramienta ayudó a clarificar el funcionamiento del dispositivo y los parámetros críticos para su uso seguro.

En el **Nivel 3: Comportamiento**, los resultados indicaron un impacto positivo en la confianza y en la percepción de preparación de los estudiantes para aplicar lo aprendido en contextos reales. Los participantes señalaron que el entrenamiento les permitió abordar el uso del electrobisturí desde una perspectiva más técnica y clínica, lo cual es un logro importante considerando la naturaleza práctica del aprendizaje que se busca promover.

En el **Nivel 4: Resultados**, se evidenció que la herramienta contribuyó a la comprensión del manejo seguro del electrobisturí. La totalidad de los participantes consideró que la herramienta debería formar parte de su proceso de formación, destacando su potencial para fortalecer la cultura de seguridad del paciente.

En cuanto a las sugerencias de mejora, los estudiantes propusieron: la incorporación de una demostración inicial que facilite la introducción a la herramienta, dejar mejor plasmado los pasos a seguir dentro de los canvas del juego y continuar aprovechando elementos como el sistema de "vidas", que fue valorado como un recurso que hace el aprendizaje más didáctico.

En conclusión, la evaluación realizada demuestra que la herramienta de gamificación es una estrategia pedagógica pertinente y efectiva para el aprendizaje del uso seguro del electrobisturí, con un alto grado de aceptación por parte de los estudiantes y un impacto positivo en su preparación técnica y clínica. Las sugerencias recogidas aportan elementos valiosos para optimizar futuras versiones de la herramienta.

7.3.4. Ajustes y mejoras de la herramienta a partir de los resultados de la evaluación

A partir de los resultados obtenidos en la evaluación de la herramienta y de la retroalimentación directa proporcionada por los estudiantes durante la actividad, se implementaron diversos ajustes y mejoras con el fin de optimizar la experiencia de uso y la efectividad del proceso de aprendizaje.

Entre los aspectos más relevantes de la retroalimentación se identificaron los siguientes puntos:

- **Claridad en las instrucciones dentro de la herramienta:** Los participantes recomendaron que los pasos a seguir dentro de la herramienta estuvieran más claramente detallados en los canvas de la interfaz, ya que en la versión inicial algunos usuarios no tenían certeza completa sobre el flujo de la actividad. En respuesta a esta observación, se ajustaron los canvas en Unity para incluir textos guía más precisos, así como recordatorios visuales que orientan al usuario durante cada etapa del entrenamiento (por ejemplo, en la preparación del paciente y en el uso del electrobisturí).

Para este ajuste, se trabajó en la adaptación del contenido de los canvas ya existentes dentro de la herramienta. Se revisaron y reescribieron los textos de las instrucciones para que los pasos a seguir en cada etapa del entrenamiento quedaran más claros y guiados para el usuario. Los cambios se implementaron directamente en los elementos de texto de la UI, asegurando que la secuencia de acciones estuviera mejor comprendida durante el uso de la herramienta.

- **Familiarización con los controles de VR:** Se sugirió que antes de iniciar formalmente la actividad, se realice una breve demostración del uso de la herramienta, explicando cómo se interactúa con los controles VR, como el agarre de objetos, activación de botones, interacción con los elementos del entorno. Esto se debe a que no todos los participantes están familiarizados con el uso de controladores VR, lo cual podría afectar su experiencia inicial.

Como respuesta, se incorporó en la dinámica de la sesión una pequeña fase previa de demostración, donde se explican las asignaciones de botones y las mecánicas básicas de interacción. Esto se refuerza también mediante la mejora en los mensajes de instrucción inicial en la herramienta.

- **Optimización del rendimiento en la etapa de rasurado:** Los estudiantes reportaron que durante la etapa de rasurado se generaba un lag perceptible, lo cual afectaba la fluidez de

la experiencia. La causa principal de este comportamiento estaba asociada a la cantidad de objetos instanciados para representar los "pelitos" que debían ser eliminados.

Para mitigar este problema, se realizaron optimizaciones en la escena de Unity: se redujo la cantidad de objetos activos simultáneamente mediante el uso de técnicas como **Object Pooling**, se ajustaron los niveles de detalle (LOD) de los objetos involucrados, y se optimizó el uso de colisionadores y llamadas físicas innecesarias. Como resultado, el nivel de lag se redujo de manera significativa, aunque en casos puntuales aún puede presentarse un pequeño retraso debido a la complejidad inherente de la simulación de esa etapa.

Estas mejoras implementadas reflejan el compromiso con el proceso de mejora continua de la herramienta, así como la importancia de integrar activamente la retroalimentación de los usuarios en el diseño de soluciones formativas basadas en tecnologías emergentes.

7.3.5. Elaboración del informe final y socialización de los hallazgos del proyecto

Como parte final del proyecto, se llevó a cabo la documentación completa del proceso de desarrollo, implementación y evaluación de la herramienta de entrenamiento, consolidada en el presente informe de trabajo de grado.

El informe integra de manera sistemática los hallazgos, análisis y conclusiones derivados de las diferentes etapas del proyecto, abarcando desde el diseño conceptual y técnico de la herramienta hasta la evaluación de su impacto en el aprendizaje mediante el modelo de Kirkpatrick.

Los resultados obtenidos y las evidencias recopiladas se presentan de forma responsable, confidencial y transparente, en cumplimiento con los principios éticos establecidos para el proyecto.

Conclusiones

El desarrollo de este trabajo de grado permitió cumplir satisfactoriamente con el objetivo general planteado, mediante la creación de una herramienta de entrenamiento y evaluación para el uso seguro del electrobisturí, implementada en un entorno de realidad virtual con elementos de gamificación. Los resultados obtenidos a través de la evaluación con el modelo de Kirkpatrick demuestran la efectividad de la herramienta: el 100 % de los participantes consideró que la gamificación mejoró su experiencia de aprendizaje y recomendaría la herramienta como parte de su proceso formativo, el 89 % indicó que su comprensión sobre el uso seguro del electrobisturí mejoró significativamente, y el 100 % reportó haber adquirido habilidades prácticas necesarias para el uso real del dispositivo. Además, el 100 % manifestó que la herramienta les ayudó a prepararse mejor para el futuro manejo del electrobisturí.

La revisión de literatura y el análisis de entrevistas permitieron identificar las variables críticas asociadas al uso del electrobisturí, así como los principales retos que enfrenta el personal asistencial. Entre estos se destacan la correcta colocación del electrodo de retorno, el manejo adecuado de líquidos inflamables, la configuración segura del equipo y la ejecución precisa de las técnicas de corte y coagulación. Estos hallazgos guiaron el diseño de la herramienta, asegurando que los contenidos y escenarios virtuales abordaran los aspectos más relevantes para la seguridad del paciente. La incorporación de elementos de gamificación en el entorno VR facilitó el aprendizaje activo y motivador para los participantes, como se evidenció en los resultados obtenidos en los niveles de reacción, aprendizaje, comportamiento y resultados del modelo de evaluación de Kirkpatrick.

Se logró diseñar e implementar un entorno virtual interactivo que reproduce fielmente el contexto quirúrgico y los procedimientos de uso del electrobisturí. La herramienta incluye un nivel completo que permite al usuario realizar de manera guiada las etapas clave: preparación de la piel, colocación del pad de retorno, manejo del equipo y ejecución de las funciones de corte y coagulación, todo ello en concordancia con los estándares de práctica recomendados por la literatura y la normativa vigente.

La funcionalidad de la herramienta fue verificada mediante un modelo de evaluación cuantitativo basado en el enfoque de Kirkpatrick. Los resultados obtenidos en los cuatro niveles de evaluación (reacción, aprendizaje, comportamiento y resultados) evidencian una alta aceptación de la herramienta, una mejora significativa en el conocimiento y habilidades de los participantes, así como un impacto positivo en su autoconfianza para la aplicación de prácticas seguras en el uso del electrobisturí.

Entre los aportes más relevantes del proyecto, destaca la posibilidad de entrenar habilidades técnicas y conductuales en un entorno exento de riesgos reales para el paciente, promoviendo la adherencia a buenas prácticas en el uso del electrobisturí. Asimismo, la herramienta desarrollada contribuye a cerrar la brecha entre el conocimiento teórico y la práctica clínica segura, al ofrecer escenarios realistas que permiten la repetición y evaluación constante.

Se identificaron algunas limitaciones durante el desarrollo, tales como la ausencia de retroalimentación háptica avanzada en el simulador y la necesidad de ampliar el número de escenarios clínicos incluidos. No obstante, la herramienta desarrollada constituye una base sólida y escalable sobre la cual es posible construir nuevas funcionalidades y niveles más avanzados. En este sentido, su diseño modular permite que futuros desarrollos, realizados por especialistas en diseño de videojuegos o en simulación clínica, puedan enriquecerla con mayor realismo visual, incorporación de normativas adicionales y técnicas más sofisticadas de simulación del corte y la coagulación.

En síntesis, los resultados alcanzados respaldan plenamente los objetivos planteados al inicio del trabajo y confirman que la herramienta desarrollada constituye un aporte valioso para el entrenamiento del personal asistencial. Además, el proyecto pone en evidencia el potencial de la realidad virtual y la gamificación como estrategias innovadoras y efectivas para la formación en el ámbito de la tecnología biomédica y la seguridad del paciente.

Trabajos futuros

El desarrollo de esta herramienta constituye una base sólida sobre la cual es posible construir nuevas funcionalidades y escenarios de entrenamiento más avanzados. Como trabajos futuros, se propone la expansión del entorno de realidad virtual mediante la incorporación de niveles adicionales que simulen situaciones clínicas más complejas y variadas, permitiendo así un entrenamiento más integral del personal asistencial. Asimismo, se sugiere el fortalecimiento de la fidelidad visual y la simulación realista de los efectos de corte y coagulación, lo cual requiere un manejo más avanzado de herramientas de desarrollo en Unity y técnicas específicas de diseño de videojuegos.

Otra línea de trabajo recomendable es la integración de un mayor número de normativas y estándares internacionales sobre el uso seguro del electrobisturí, con el fin de enriquecer el contenido formativo y asegurar una alineación más completa con las mejores prácticas del ámbito quirúrgico. Finalmente, se plantea la posibilidad de desarrollar un sistema de retroalimentación automática y adaptativa dentro de la herramienta, que permita personalizar la experiencia de aprendizaje y reforzar aquellas habilidades que requieran mayor práctica por parte de cada usuario.

CAPÍTULO 10

Anexos

Anexo 1 – Instructivo para el uso seguro del electrobisturí

INSTRUCTIVO PARA EL USO SEGURO DEL ELECTROBISTURÍ


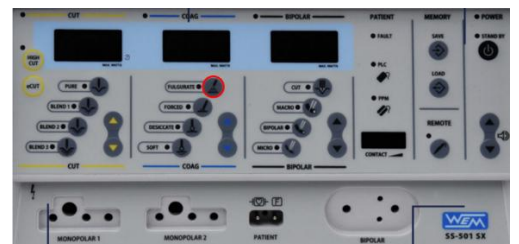
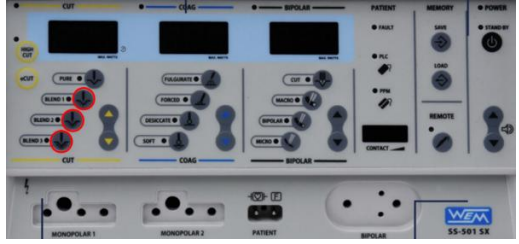
Guía práctica para estudiantes de ciencias de la salud

Este instructivo busca proporcionar una guía, clara y didáctica sobre las normas internacionales y nacionales que regulan el uso del electrobisturí, con el fin de formar a estudiantes de las ciencias de la salud en prácticas seguras, responsables y éticamente correctas. Sirve como base teórica obligatoria antes de interactuar con la herramienta de realidad virtual desarrollada para este fin. Asimismo, se recomienda complementar esta guía con la lectura del manual técnico del equipo antes de su uso.

1. ¿QUÉ ES EL ELECTROBISTURÍ?

El electrobisturí es un equipo biomédico que transforma corriente eléctrica de alta frecuencia alternante en calor para generar distintos efectos sobre los tejidos durante cirugías [1].

1.1 Modos de uso

Corte Puro	Rompe membranas celulares al vaporizar el agua intracelular. Produce un corte limpio, sin coagulación.	
Fulguración	Destruye tejido superficial mediante chispas. Se utiliza para coagular o cauterizar sin incisión profunda.	
Blends <ul style="list-style-type: none"> ○ Blend 1 ○ Blend 2 ○ Blend 3 	<ol style="list-style-type: none"> 1: 75% corte / 25% coagulación. Ideal para incisiones con mínima pérdida de sangre. 2: 50% corte / 50% coagulación. Equilibrio entre incisión y control de sangrado. 3: 25% corte / 75% coagulación. Para hemostasia con mínima penetración. 	

Según la Association of Surgical Technologists, los modos de uso incluyen corte puro, fulguración y mezclas de corte-coagulación (blends) [2].

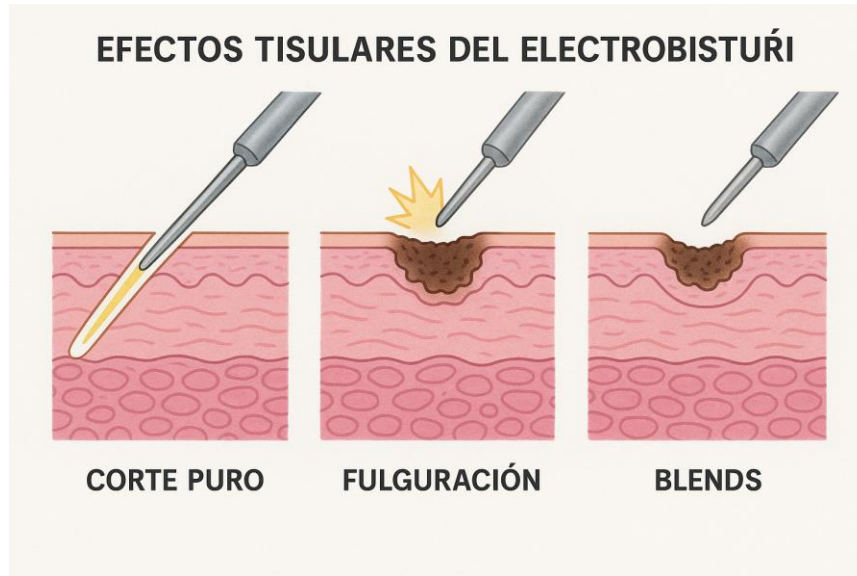


Figura 1. Modos de uso del electrobisturí. Adaptado de [2].

1.2 Modos de aplicación:

- **Monopolar:** requiere electrodo activo (lápiz) y electrodo de retorno (placa).

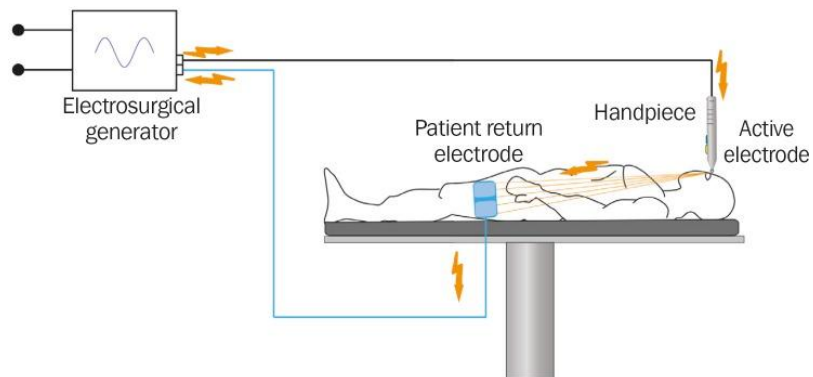


Figura 2. Modo monopolar [1].

El lápiz cuenta con dos botones: uno de color amarillo, que representa la función de **corte**, y otro de color azul, correspondiente a la función de **coagulación**. Se debe presionar el color correspondiente según el efecto deseado.

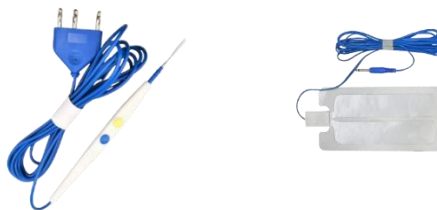


Figura 3. Componentes claves del electrobisturí monopolar [3].

- **Bipolar:** ambos electrodos están en la misma pinza (sin necesidad de placa de retorno).

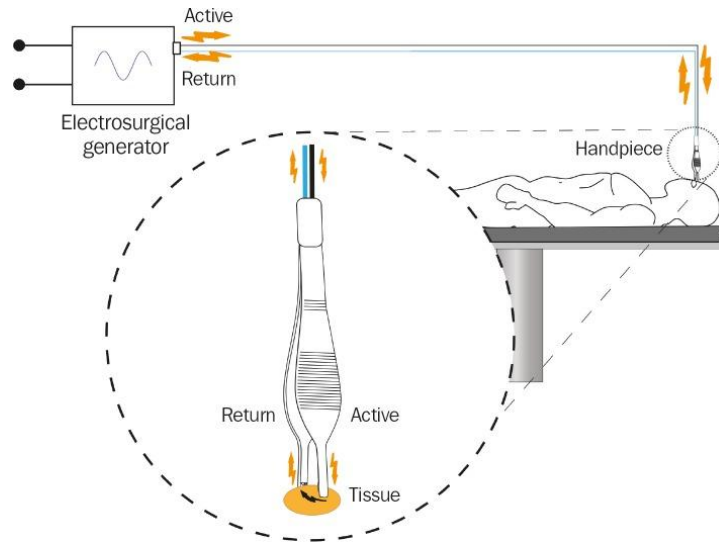


Figura 4. Modo bipolar [1].

Para los efectos del proyecto, solo se utilizará el modo **monopolar** del electrobisturí.

2. PRINCIPALES RIESGOS ASOCIADOS

- **Quemaduras** en piel por mal contacto del electrodo de retorno.
- **Incendios quirúrgicos** causados por líquidos inflamables, vapores o telas.
- **Interferencia con marcapasos** u otros dispositivos implantados.
- **Daño en tejidos no objetivo** por mal posicionamiento.
- **Quemaduras** por uso de potencia inadecuado.
- **Cortocircuitos y caminos alternativos** por contacto con metales o joyas [1, 2, 4, 5].



Figura 5. Representación gráfica caso de incendio quirúrgico [4].

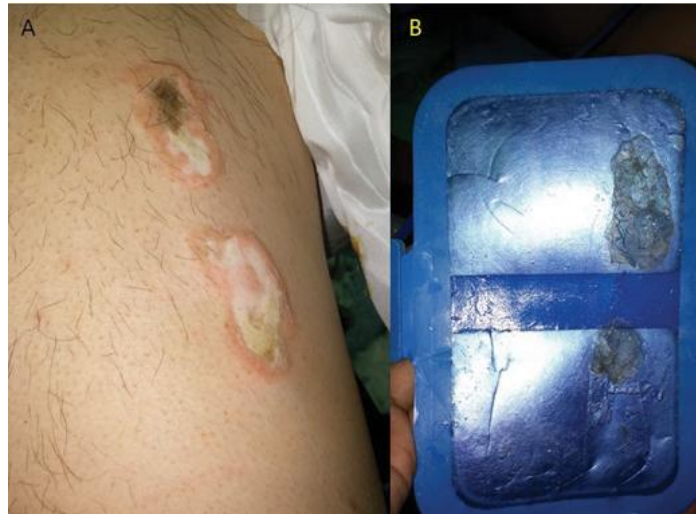


Figura 6. Quemadura por mal contacto electrodo de retorno [6].

3. ESTÁNDARES AST (Association of Surgical Technologists)

Estándar III – Posicionamiento del Electrodo de Retorno

- Inspeccionar la piel donde se aplicará.
- Evitar zonas con lesiones, humedad, cremas o vello excesivo.
- Preferir músculos grandes y vascularizados.
- No colocar sobre hueso prominente, tejido adiposo o prótesis metálicas.
- Usar siempre electrodos de un solo uso.
- Reemplazar el electrodo si se despega.

Estándar IV – Verificación del Electrobisturí

- Probar la alarma de desconexión del electrodo de retorno.
- Verificar integridad del lápiz quirúrgico y su cable.
- Mantener audible el tono de activación durante el procedimiento.
- Utilizar el nivel de potencia más bajo posible indicado por el cirujano.

Estándar V – Seguridad del Sistema Eléctrico

- El equipo debe conectarse a una toma con polo a tierra.
- No utilizar adaptadores ni extensiones.
- Verificar estado físico del cable de alimentación.

Estándar VI – Uso del Electrodo Activo (Lápiz)

- Inspeccionar punta y cable.
- Mantener la punta limpia de escara.
- No usar materiales externos para aislar.
- Guardar el lápiz en funda aislante cuando no se use.
- Probar brevemente antes de cortar.

4. BUENAS PRÁCTICAS CLÍNICAS

Antes del uso:

- Revisar estado físico del equipo y cables.
- Confirmar vencimiento del electrodo de retorno.
- Elegir un sitio adecuado para la placa de retorno (piel limpia, sin vello ni grasa).
- Confirmar limpieza y sequedad de la zona.
- Retirar joyería y objetos metálicos del paciente.

Durante el uso:

- No dejar el lápiz sobre la mesa sin protección.
- Evitar activación accidental.
- Supervisar que el tono audible (del generador) esté activo al corte.
- Atender de inmediato cualquier alarma.

Después del uso:

- Retirar con cuidado el electrodo de retorno.
- Desechar el electrodo de retorno.
- Revisar la piel por quemaduras o lesiones.
- Documentar cualquier incidente y/o evento.

5. RECOMENDACIONES PARA LA FORMACIÓN VIRTUAL

- Lee este documento antes de iniciar el simulador.
- Realiza el simulacro con actitud profesional.
- Si cometes un error en VR, vuelve a consultar este instructivo [2].

Tu preparación salva vidas. Conocer la normativa y aplicarla adecuadamente es el primer paso para convertirte en un profesional responsable y comprometido con la seguridad del paciente.

MARCO NORMATIVO COLOMBIANO

Decreto 4725 de 2005

- El Decreto 4725 de 2005 reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano. Este define claramente lo que se considera un dispositivo médico, enfatizando en cualquier instrumento, aparato, máquina o equipo, incluidos sus componentes y accesorios, destinados por el fabricante a ser utilizados en seres humanos con fines de diagnóstico, tratamiento, prevención, monitoreo o rehabilitación.
- Se establece claramente las responsabilidades del operador en cuanto a garantizar el uso correcto, seguro y eficaz del equipo.
- Este decreto exige que los operadores cuenten con formación técnica adecuada, además de mantener registros actualizados y completos del uso y mantenimiento de los dispositivos.
- Define como obligatoria la capacitación técnica del personal involucrado, tanto al momento de adquirir los dispositivos como durante la fase posventa, para asegurar que todos los procedimientos y recomendaciones del fabricante sean comprendidos y aplicados correctamente [7].

Resolución 4816 de 2008 – Tecnovigilancia

- La Resolución 4816 de 2008 reglamenta el Programa Nacional de Tecnovigilancia. Esta resolución establece detalladamente los protocolos que deben seguirse para identificar, reportar y gestionar incidentes y eventos adversos relacionados con el uso de dispositivos médicos.
- La normativa define las responsabilidades del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) y los fabricantes e importadores de dispositivos médicos en la implementación y mantenimiento de un sistema organizado de tecnovigilancia. Esto incluye la notificación oportuna de eventos adversos, análisis riguroso de incidentes, implementación de acciones correctivas y preventivas, y difusión adecuada de las medidas adoptadas, todo esto con el objetivo primordial de proteger la seguridad del paciente y prevenir riesgos futuros [8].

Resolución 8430 de 1993 – Aspectos Éticos

- La Resolución 8430 de 1993 aborda los aspectos éticos relacionados con la investigación en salud y clasifica los estudios según el nivel de riesgo involucrado.
- El entrenamiento con equipos biomédicos como el electrobisturí, al ser considerado como un procedimiento con riesgo mínimo debido a que no expone a los participantes a riesgos mayores que aquellos encontrados en actividades cotidianas, debe cumplir requisitos específicos de ética. Esto implica la obtención obligatoria del consentimiento informado, el cual debe ser claro y explícito sobre el objetivo del estudio, procedimientos involucrados, riesgos potenciales, beneficios, confidencialidad y derechos del participante. La resolución enfatiza el respeto profundo por la autonomía, privacidad y confidencialidad de los participantes en cualquier estudio o entrenamiento relacionado con dispositivos médicos [9].

Decreto 1011 de 2006 – SOGCS

- El Decreto 1011 de 2006 establece el Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad en Salud (SOGCS), es el conjunto de instituciones, normas, requisitos, mecanismos y procesos deliberados y sistemáticos del sector salud para generar, mantener y mejorar la calidad de servicios de salud del país.

- Este decreto exige que todas las instituciones prestadoras de salud implementen y mantengan una infraestructura adecuada y procesos claramente definidos para minimizar riesgos clínicos y garantizar la seguridad del paciente. Incluye requisitos específicos sobre la formación del personal, mantenimiento preventivo y correctivo de equipos médicos, auditorías regulares y sistemas de gestión de calidad que permitan la detección oportuna de problemas y la implementación efectiva de soluciones.
- El decreto busca establecer un entorno de atención sanitaria seguro y eficaz, fortaleciendo así la calidad del servicio prestado al paciente [10].

Resolución 3100 de 2019 – Habilitación de servicios de salud

- En la Resolución 3100 de 2019 se definen los procedimientos y condiciones de inscripción de los prestadores de servicios de salud y de habilitación de los servicios de salud.
- Esta norma define condiciones mínimas en infraestructura física, dotación de equipos, formación y disponibilidad del talento humano, y protocolos de atención, asegurando que los servicios ofrecidos sean seguros y de calidad.
- La inscripción y el cumplimiento de la habilitación deben ser reportados y verificados ante el Registro Especial de Prestadores de Servicios de Salud (REPS), lo que permite la vigilancia y control permanente por parte de las autoridades sanitarias.
- También promueve la autoevaluación y la mejora continua, incorporando estándares enfocados en la seguridad del paciente, la atención centrada en el usuario y la gestión eficiente de los procesos asistenciales.
- El incumplimiento de los requisitos puede generar sanciones administrativas, e incluso la suspensión de servicios, con el objetivo de proteger la salud y seguridad de los usuarios del sistema [11].

REFERENCIAS INSTRUCTIVO

- [1] J. J. Pandit and M. Pandit, “Electrosurgical units – how they work and how to use them safely,” *Indian Journal of Anaesthesia*, vol. 59, no. 9, pp. 598–602, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.4103/0019-5049.165858>
- [2] Association of Surgical Technologists, “Standards of Practice for Electrosurgery,” Association of Surgical Technologists, 2012. [Online]. Available: https://www.ast.org/uploadedfiles/main_site/content/about_us/standard%20electrosurgery.pdf
- [3] WEM, “Electrosurgical Unit SS-501SX - User Manual,” WEM Equipamentos Eletrônicos Ltda., 2023. [Online]. Available: <https://wem.com.br/en/products/electrosurgical-units/ss-501sx/>
- [4] A. I. Tan, K. Fan, and S. Goodwin, “Surgical site fire caused by alcohol and diathermy,” *European Journal of Plastic Surgery*, vol. 38, pp. 161–164, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s00238-014-0980-2>
- [5] R. P. D. Santos and J. E. Vieira, “Evaluation of volatile and intravenous anesthetics, effects on the neuroauditory threshold and stapedial reflex threshold responses,” *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, vol. 82, no. 5, pp. 531–538, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2016.05.010>
- [6] T. T. B. Jansz, N. Paskaranandavadivel, and R. N. Judson, “Unexplained intraoperative hypertension and an electrocautery burn: A case report,” *International Journal of Anesthetics and Anesthesiology*, vol. 9, p. 133, 2022. [Online]. Available: <https://clinmedjournals.org/articles/ijaa/international-journal-of-anesthetics-and-anesthesiology-ijaa-9-133.pdf>
- [7] Ministerio de la Protección Social, “Decreto 4725 de 2005, por el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano,” Bogotá, Colombia, 2005. [Online]. Available: https://www.invima.gov.co/documents/20143/453029/decreto4725_2005.pdf
- [8] Ministerio de Salud, “Resolución 8430 de 1993, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud,” Bogotá, Colombia, 1993. [Online]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>
- [9] Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), “Resolución 4816 de 2008, por la cual se reglamenta el Programa Nacional de Tecnovigilancia,” Bogotá, Colombia, 2008. [Online]. Available: https://www.invima.gov.co/documents/20143/453029/resolucion4816_2008.pdf
- [10] Ministerio de Salud y Protección Social, “Decreto 1011 de 2006, por el cual se establece el Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad en Salud,” Bogotá, Colombia, 2006. [Online]. Available: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%201011%20DE%202006.pdf
- [11] Ministerio de Salud y Protección Social, “Resolución 3100 de 2019, por la cual se definen los procedimientos y condiciones de inscripción de los prestadores de servicios de salud y de habilitación de servicios de salud,” Bogotá, Colombia, 2019. [Online]. Available: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%203100%20de%202019.pdf

Bibliografía

- [1] L. P. A. Marín, C. Salazar López, and A. L. Franco Herrera, “Incidencia de eventos adversos asociados a dispositivos médicos en una institución de salud en Colombia,” *Revista de ingeniería biomédica*, vol. 4, no. 8, pp. 71–84, 2010. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-97622010000200007
- [2] I. Cordero, “Electrosurgical units - how they work and how to use them safely,” *Community Eye Health*, vol. 28, no. 89, pp. 15–16, 2015.
- [3] A. Y. K. Chan, *Biomedical Device Technology: Principles and Design*. Charles C. Thomas Publisher, 2008.
- [4] E. Institute, “Top 10 health technology hazards for 2018,” 2018, accessed: 2025-06-09. [Online]. Available: <https://www.ecri.org/components/HRC/Pages/Sample-Top-10-Health-Technology-Hazards.aspx>
- [5] “Dispositivos médicos,” <https://www.paho.org/es/temas/dispositivos-medicos>, Paho.org, *n.d.*
- [6] I. of Medicine, *To Err is Human: Building a Safer Health System*. Washington, DC: National Academies Press, 2000.
- [7] J. N. Amore, “A structured approach for investigating the causes of medical device adverse events,” *Journal of Medical Engineering*, pp. 1–13, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1155/2014/314138>
- [8] S. A. Meador, “Electrosurgery: Principles, biophysics, and clinical applications,” *AORN Journal*, vol. 92, no. 1, pp. 45–60, 2010.
- [9] STERIS Corporation, “Electrosurgery: What is it, types benefits,” *n.d.*, accessed: 2025-03-23. [Online]. Available: <https://www.steris.com/healthcare/knowledge-center/therapeutic-endoscopy/electrosurgery-what-is-it-types-benefits>
- [10] W. L. Barrett and S. M. Garber, “Surgical smoke: A review of the literature,” *Isrn Surgery*, vol. 2013, pp. 1–9, 2013.
- [11] D. A. Cook, R. Hatala, R. Brydges, B. Zendejas, J. H. Szostek, A. T. Wang, P. J. Erwin, and S. J. Hamstra, “Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis,” *JAMA*, vol. 306, no. 9, pp. 978–988, 2011.
- [12] M. G. Tolsgaard, D. A. Cook, and J. Cleland, “Simulation-based medical education with deliberate practice may improve clinical skills,” *BMJ*, vol. 350, p. h1326, 2015.
- [13] I. Wohlgenannt, A. Simons, and S. Stieglitz, “Virtual reality,” *Business & Information Systems Engineering*, vol. 62, pp. 455–461, 2020.

- [14] S. V. Gentry, A. Gauthier, B. L. Ehrstrom, D. Wortley, A. Lilienthal, L. Tudor Car, S. Dauwels-Okutsu, C. K. Nikolaou, N. Zary, J. Campbell, and J. Car, “Serious gaming and gamification education in health professions: systematic review,” *Journal of Medical Internet Research*, vol. 21, no. 3, p. e12994, 2019.
- [15] F. Flórez, L. López, and C. Bernal, “Prevalencia de eventos adversos y sus manifestaciones en profesionales de la salud como segundas víctimas,” *Biomedica: revista del Instituto Nacional de Salud*, vol. 42, no. 1, pp. 184–195, 2022.
- [16] M. L. Harper and R. L. Helmreich, “Identifying barriers to the success of a reporting system,” *Agency for Healthcare Research and Quality*, 2005.
- [17] M. d. S. y. P. S. Colombia, “Seguridad del paciente,” <https://www.minsalud.gov.co/salud/CAS/Paginas/seguridad-del-paciente.aspx>, recuperado el 26 de abril de 2024.
- [18] H. D. ECRI Institute, “Top 10 health technology hazards for 2016,” https://www.ecri.org/Resources/Whitepapers_and_reports/2016_Top_10_Hazards_Executive_Brief.pdf, Nov. 2015.
- [19] World Health Organization, “Seguridad del paciente,” <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/patient-safety>, September 11 2023, accessed: 2024-05-25.
- [20] C. L. d. Almeida, M. G. Meneguetti, N. C. L. Q. Ferreira, T. R. d. Araújo, and A. M. Laus, “Evaluación de intervenciones educativas y conocimientos del equipo de enfermería en el uso de la electrocirugía,” *Enfermería global*, vol. 20, no. 4, p. 456–505, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.6018/eglobal.480031>
- [21] B. García Bracamonte, J. Rodriguez, R. Casado, and F. Vanaclocha, “Electrocirugía y dispositivos electrónicos cardiacos implantables (marcapasos y desfibriladores),” *Actas dermo-sifiliograficas*, vol. 104, no. 2, p. 128–132, 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ad.2012.09.012>
- [22] E. Hospital. (2015, May) INVIMA previene sobre eventos adversos relacionados con quemaduras con electrobisturías. [Online]. Available: <https://www.elhospital.com/es/noticias/invima-previene-sobre-eventos-adversos-relacionados-con-quemaduras-con-electrobisturias>
- [23] Ministerio de Salud y Protección Social, “Decreto no. 4725 de 27 de diciembre de 2005,” Diario Oficial No. 46.129, diciembre 2005.
- [24] M. de la Protección Social. Lineamientos para la implementación de la política de seguridad del paciente. Gov.co. Retrieved Retrieved March 11, 2024 from, url = https://www.minsalud.gov.co/normatividad_nuevo/resoluci
- [25] J. Amooore, “Quality improvement report: Learning from adverse incidents involving medical devices,” *BMJ*, vol. 325, no. 7358, pp. 272–275, 2002. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1136/bmj.325.7358.272>

- [26] G. A. Franco, D. Jaramillo, and J. G. Barreneche, “Modelo de capacitación de tecnología biomédica para clínicas y hospitales de tercer nivel, enfocado en personal asistencial,” *Revista de ingeniería biomédica*, vol. 9, no. 18, pp. 139–144, 2015. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-97622015000200017&script=sci_arttext
- [27] M. de la Salud, “Evaluación de la frecuencia de eventos adversos y monitoreo de aspectos claves relacionados con la seguridad del paciente,” n.d., gov.Co. Retrieved March 11, 2024, from <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/CA/Monitor-ear-aspectos-claves-seguridad-paciente.pdf>.
- [28] A. D. C. J. E, and O. J, “Vista de mejora de habilidades en la seguridad del paciente implementando una estrategia de entrenamiento en el personal asistencial,” *Edu.co*, pp. 21–25, 2016, retrieved March 11, 2024, from <https://revistas.eia.edu.co/index.php/BME/article/view/1069/1002>.
- [29] Ministerio de la Protección Social, “Resolución no. 4816 de 2008,” 2008, colombia.
- [30] Ministerio de Salud y Protección Social, “Decreto 2078 de 2012,” http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_2078_2012.html, October 8 2012, accessed: 2024-05-25.
- [31] INVIMA, “Qué hacemos,” Gov.co, s/f, recuperado el 6 de mayo de 2024. [Online]. Available: <https://www.invima.gov.co/el-instituto/que-hacemos>
- [32] Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria, “Conoce más sobre la tecnovigilancia,” Gob.Ec, s/f, recuperado el 6 de mayo de 2024. [Online]. Available: <https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/04/BOLET%20C3%8DN-ARCSA-CONOCE-M%20C3%81S-SOBRE-LA-TECNOVIGILANCIA.pdf>
- [33] Ministerio de la Protección Social, “Decreto no. 1011 de 2006,” Abril 2006.
- [34] Ministerio de Salud y Protección Social, “Sistema obligatorio de garantía de calidad en salud (sogcs),” Gov.co, s/f, recuperado el 6 de mayo de 2024. [Online]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/salud/PServicios/Paginas/sistema-obligatorio-garantia-calidad-SOGC.aspx>
- [35] —, “Resolución 3100 de 2019,” https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%203100%20de%202019.pdf, 2019, por la cual se definen los procedimientos y condiciones de la inscripción de los Prestadores de Servicios de Salud y de la habilitación de servicios de salud.
- [36] B. R. C. Chiappone, Gerald and B. M. Bailey, Jennifer, “Electrosurgery: What is it, how does it work, and what are the benefits?” *Steris.com*, April 11 2022. [Online]. Available: <https://www.steris.com/healthcare/knowledge-center/therapeutic-endoscopy/electrosurgery-what-is-it-types-benefits>
- [37] I. Cordero, “Electrosurgical units – how they work and how to use them safely,” *Community Eye Health*, vol. 28, no. 89, p. 15, 2015.

- [38] De los riesgos que deberán ser manejados con prioridad en, E. S. es un C. and De acuerdo, C., “10 mayores riesgos de la tecnología médica para 2018,” Ecri.org, s/f. [Online]. Available: https://www.ecri.org/Resources/International/Top_10_Hazards_Spanish_2018.pdf
- [39] “IEC 60601: Product safety standards for medical devices,” Intertek.com, s/f. [Online]. Available: <https://www.intertek.com/medical/regulatory-requirements/iec-60601-1/>
- [40] A. Van Dijk, N. Nijholt, and B.-B. B., “Immersion in movement-based interaction,” *Researchgate.net*, June 2009. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-642-02315-6_16
- [41] P. Vr, “Understanding vr training: A comprehensive guide,” PIXO VR, July 9 2020. [Online]. Available: <https://pixovr.com/what-is-virtual-reality-training/>
- [42] S. Young, “Vr training: Examples of how it’s helping businesses in 2023,” *Future Visual*, February 25 2022. [Online]. Available: <https://www.futurevisual.com/blog/vr-training/>
- [43] A. Marczewski, *Gamification: a simple introduction*. Andrzej Marczewski, 2013.
- [44] M. Sailer and L. Homner, “The gamification of learning: A meta-analysis,” *Educational Psychology Review*, vol. 32, no. 1, pp. 77–112, 2020.
- [45] M. Goldstone and C. Manning, *Unity 5.x Cookbook*. Packt Publishing Ltd, 2015.
- [46] S. Blackman, *Beginning 3D Game Development with Unity 2019*. Apress, 2019.
- [47] N. W. John, “Medical simulation using virtual reality and gaming technology: A review,” *Health Information Science and Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, 2018.
- [48] A. Pérez, P. Valdés, M. Moreno, and J. Ramírez, “Design and evaluation of a virtual reality-based simulator for training in laparoscopic surgery using unity,” in *2018 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*. IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [49] D. Gupta, “6 best training evaluation models in 2023,” *The Whatfix Blog | Drive Digital Adoption*; Whatfix, August 16 2023. [Online]. Available: <https://whatfix.com/blog/training-evaluation-models/>
- [50] “Prueba ecoe,” *Medicina.us.es*, s/f, recuperado el 9 de mayo de 2024. [Online]. Available: <https://medicina.us.es/estudios/grado-en-medicina/prueba-ecoe>
- [51] Association of Surgical Technologists, *AST Standards of Practice for Use of Electrosurgery*, 2012. [Online]. Available: https://www.ast.org/uploadedfiles/main_site/content/about_us/standard%20electrosurgery.pdf
- [52] Ministerio de Salud de Colombia, “Resolución 8430 de 1993,” 1993, Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. [Online]. Available: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/RESOLUCION%208430%20DE%201993.pdf

- [53] World Medical Association, “WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects,” 2023, Adopted by the 18th WMA General Assembly, Helsinki, Finland, June 1964, and last amended by the 64th WMA General Assembly, Fortaleza, Brazil, October 2013. [Online]. Available: <https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki/>
- [54] T. L. Beauchamp and J. F. Childress, *Principles of Biomedical Ethics*, 7th ed. New York: Oxford University Press, 2013.
- [55] Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS), *International Ethical Guidelines for Health-related Research Involving Humans*. Geneva, Switzerland: CIOMS, 2016. [Online]. Available: <https://cioms.ch/publications/product/international-ethical-guidelines-for-health-related-research-involving-humans/>
- [56] National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research, “The belmont report,” U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Washington, D.C., Tech. Rep., 1979. [Online]. Available: <https://www.hhs.gov/ohrp/regulations-and-policy/belmont-report/index.html>
- [57] F. Mantovani, G. Castelnuovo, A. Gaggioli, and G. Riva, “Virtual reality training for health-care professionals,” *Cyberpsychol Behav*, vol. 6, no. 4, pp. 389–395, Aug 2003.
- [58] F. Meeuwse, A. Guédon, J. Klein, M. V. Elst, J. Dankelman, and J. Van Den Dobbelsteen, “Electrosurgery: Short-circuit between education and practice,” *Minim Invasive Ther Allied Technol*, vol. 28, no. 4, pp. 247–253, Aug 2019.
- [59] D. E. De la Cruz López, “Metodología para la validación de competencias y habilidades asociadas al uso seguro de la tecnología biomédica en el hospital universitario fundación valle del lili,” Universidad Autónoma de Occidente, Tech. Rep., 2024.
- [60] L. S. Benavides Mogro, “Diseño de herramientas para el proceso de capacitación en el buen uso de equipos biomédicos en la clínica pabón sas,” Universidad Autónoma de Occidente, Tech. Rep., 2023.
- [61] U. of Auckland eResearch, “Surgeryquest - github repository,” n.d., accessed: 2025-06-06. [Online]. Available: <https://github.com/UoA-eResearch/SurgeryQuest>
- [62] J. Rey, U. Beilenhoff, C. Neumann, and J. Dumonceau, “European society of gastrointestinal endoscopy (esge) guideline: the use of electrosurgical units,” *Endoscopy*, vol. 42, no. 9, pp. 764–772, September 2010, epub 2010 Jul 15. Published by the European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE).
- [63] U. Vieweg, *Electrosurgery*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2023, pp. 65–69. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-662-64062-3_10

- [64] C. J. Smith, R. Rane, and L. Melendez, “89 - operating room,” in *Clinical Engineering Handbook*, ser. Biomedical Engineering, J. F. Dyro, Ed. Burlington: Academic Press, 2004, pp. 376–384. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780122265709500983>
- [65] J. Mírez. (2012) Efectos sobre el tejido de los generadores de electrocirugía. Accedido el 11 de junio de 2025. [Online]. Available: <https://jmirezmedical.wordpress.com/2012/08/09/s067-efectos-sobre-el-tejido-de-los-generadores-de-electrocirugia/>
- [66] M. De Luca, A. Marra, A. Martino, G. De Luca, E. Panuccio, F. Ferrarese, and G. Martino, “Electrosurgery: general principles and clinical update,” *Annali Italiani di Chirurgia*, vol. 83, no. 6, pp. 455–462, 2012. [Online]. Available: <https://annaliitalianidichirurgia.it/index.php/aic/article/view/566/451>
- [67] S. M. Sanders, S. Krowka, A. Giacobbe, and L. J. Bisson, “Third-degree burn from a grounding pad during arthroscopy,” *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic Related Surgery*, vol. 25, no. 10, pp. 1193–1197, 2009. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749806308008451>
- [68] B. Kim, “Understanding gamification,” *Library Technology Reports*, vol. 51, no. 2, 2015. [Online]. Available: <https://journals.ala.org/index.php/ltr/article/view/5630>
- [69] S. user, “3m surgical clippers 9661 - 3d model,” n.d., accessed: 2025-06-06. [Online]. Available: <https://sketchfab.com/3d-models/3m-surgical-clippers-9661-72dc9fb5615e46a18ade9312d5634ae3>
- [70] —, “Charité university hospital operating room - 3d model,” n.d., accessed: 2025-06-06. [Online]. Available: <https://sketchfab.com/3d-models/charite-university-hospital-operating-room-9ec46c4d615a4581a235eebfb162f574>
- [71] —, “Patient - 3d model,” n.d., accessed: 2025-06-06. [Online]. Available: <https://sketchfab.com/3d-models/patient-00b483f284a542899b94e99831f1ad1c>
- [72] U. A. Store, “Heart in pixel - unity asset,” n.d., accessed: 2025-06-06. [Online]. Available: <https://assetstore.unity.com/packages/2d/gui/icons/heart-in-pixel-287862>
- [73] P. contributors, “Foley electric razor - sound effect,” n.d., accessed: 2025-06-06. [Online]. Available: <https://pixabay.com/es/sound-effects/foley-electric-razor-238005/>